



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΣΕ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ  
ΑΛΥΣΙΔΑ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΥΣ ΜΕ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗ/ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

υπό

**ΠΑΝΤΑΖΗ ΘΕΟΔΩΡΑ**

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Π.Θ., 2013

**Επιβλέπων Καθηγητής: Λυμπερόπουλος Γεώργιος**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2015

© 2015 Πανταζή Θεοδώρα

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

**Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)** Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

**Δεύτερος Εξεταστής** Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Τρίτος Εξεταστής** Δρ. Γεώργιος Σαχαρίδης  
Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά όλους τους ανθρώπους οι οποίοι με άμεσο ή με έμμεσο συνέβαλλαν στην εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου. Επίσης οφείλω να τον ευχαριστήσω για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο που ανταποκρίνεται πλήρως στα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Γεώργιο Κοζανίδη και Γεώργιο Σαχαρίδη, καθώς και στον Καθηγητή κ. Δημήτριο Παντελή, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις του, καθώς και για τις γνώσεις που μου έχουν προσφέρει κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Επιθυμώ επίσης να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κάτοχο μεταπτυχιακού διπλώματος του Π.Θ. Ερωτόκριτο Σκορδίλη για την συνδρομή των πολύτιμων προγραμματιστικών του γνώσεων.

Τέλος, θέλω από τα βάθη της ψυχής μου να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Βασίλειο και Ελένη, και την αδερφή Φανή για την αμέριστη και ουσιαστική υποστήριξη, ηθική και υλική, αλλά και για την αγάπη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και συνεχίζουν να μου παρέχουν. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Πανταζή Θεοδώρα

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΣΕ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ  
ΑΛΥΣΙΔΑ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ ΜΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΥΣ ΜΕ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗ/ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

ΠΑΝΤΑΖΗ ΘΕΟΔΩΡΑ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2015

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Καθηγητής

### **Περίληψη**

Στη σημερινή παγκοσμιοποιημένη αγορά, όπου το επιχειρηματικό περιβάλλον είναι άκρως ανταγωνιστικό, προωθείται η δημιουργία σχέσεων συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων, δηλαδή η δημιουργία εφοδιαστικών αλυσίδων. Ο προγραμματισμός παραγωγής σε μια εφοδιαστική αλυσίδα είναι περίπλοκη και σύνθετη διαδικασία, καθώς θα πρέπει να παράγει προγράμματα παραγωγής που να είναι βέλτιστα τόσο για τις μεμονωμένες επιχειρήσεις όσο και για ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα.

Στην εργασία αυτή εξετάζουμε τόσο τον συγκεντρωτικό όσο και τον αποκεντρωμένο τρόπο λήψης αποφάσεων στα πλαίσια μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα, υιοθετούμε δυο στάδια παραγωγής, διαδοχικά στη σειρά, και αναπτύσσουμε διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης για τις διαφορετικές εκδοχές του προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών αυτής της εφοδιαστικής αλυσίδας που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το είδος της συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων.

Εν συνεχεία, επιλύουμε τα διαφορετικά αυτά μοντέλα για διαφορετικές τιμές των παραμέτρων ζήτησης, χρόνου υστέρησης και πάγιων κοστών και καταγράφουμε τα αποτελέσματα. Στόχος της εργασίας είναι να συγκρίνει τους διαφορετικούς τρόπους λήψης αποφάσεων συγκρίνοντας τα κέρδη μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών. Από την ανάλυσή μας καταδεικνύεται η βελτιστότητα του συγκεντρωτικού τρόπου λήψης αποφάσεων, όπως επίσης και το φαινόμενο του μαστιγίου.

**Λέξεις κλειδιά:** προγραμματισμός παραγωγής, αποκεντρωμένος, συγκεντρωτικός, εφοδιαστική αλυσίδα, φαινόμενο μαστιγίου

# **PRODUCTION AND ORDER PLANNING IN A TWO-STAGE SUPPLY CHAIN WITH EXTERNAL SUBCONTRACTORS AND CENTRALIZED/DECENTRALIZED DECISION MAKING AND INFORMATION USE**

PANTAZI THEODORA

University of Thessaly, Department of Mechanical Engineering, 2015

Supervisor: Dr. George Liberopoulos, Professor

## **Summary**

In today's global market, where the business environment is highly competitive, the partnership between businesses is promoted, namely the creation of supply chains. The production planning in a supply chain is complex and complicated process, as it should generate production schedules that are optimal for both individual enterprises and the entire supply chain.

In this paper we examine both the centralized and decentralized decision-making process within a supply chain. Specifically, we adopt two production stages, successively in a row, and develop different mathematical optimization models for the different versions of production and ordering planning of this supply chain that differ in the type of cooperation between the two stages.

Subsequently, we solve these different models for different values of the demand, lead time and fixed costs parameters and record the results. The aim of this study is to compare the different decision-making modes by comparing the profits between the different versions. From our analysis is demonstrated the optimality of the centralized decision making process, as well as the Bullwhip Effect.

**Key words:** production planning, decentralized, centralized, supply chain, Bullwhip Effect

## Πίνακας περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή</b>	17
1.1. Θεωρητικό Υπόβαθρο	17
1.2. Κίνητρο Μεταπτυχιακής Εργασίας	19
1.3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	21
1.4. Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας	22
<b>Κεφάλαιο 2 Βασικό Πρότυπο Εφοδιαστικής Αλυσίδας</b>	24
2.1. Υποθέσεις Προτύπου	24
2.2. Μαθηματικοί Συμβολισμοί ( <i>Παράμετροι και Μεταβλητές Απόφασης</i> )	26
2.3. Συνοπτική Περιγραφή Προβλήματος και Λύσης	28
<b>Κεφάλαιο 3 Μαθηματικά Μοντέλα</b>	30
3.1. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική λήψη αποφάσεων	30
3.2. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων όπου ηγείται το στάδιο 2	32
3.2.1. Αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών	32
3.2.2. Κεντρική χρήση πληροφοριών	36
3.3. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων όπου ηγείται το στάδιο 1	40
3.4. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων	44
<b>Κεφάλαιο 4 Αριθμητικά Αποτελέσματα</b>	48
4.1. Αριθμητικό Παράδειγμα Αναφοράς του Βασικού Προτύπου της Εφοδιαστικής Αλυσίδας	48
4.1.1. Τιμές παραμέτρων του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς του βασικού προτύπου εφοδιαστικής αλυσίδας	48
4.1.2. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς	52
4.1.3. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς	60
4.1.4. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς	67

4.1.5. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς .....	74
4.1.6. Συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των προτύπων κεντρικής και αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων .....	81
4.1.7. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς .....	83
<b>4.2. Αλλαγή παραμέτρων στο αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς του βασικού πρότυπου της εφοδιαστικής αλυσίδας .....</b>	<b>84</b>
4.2.1. Εισαγωγή θετικών χρόνων υστέρησης παραγγελιών και παραγωγής για τα 2 στάδια.....	85
4.2.2. Αύξηση των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών για τα 2 στάδια.....	101
4.2.3. Αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας των δύο σταδίων .....	128
4.2.4. Αύξηση της μοναδιαίας τιμής αγοράς των προϊόντων από τους υπεργολάβους των δύο σταδίων .....	131
<b>4.3. Αριθμητικά παραδείγματα για διαφορετικά προφίλ ζήτησης τελικών προϊόντων.....</b>	<b>133</b>
4.3.1. Εξωγενής τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο .....	133
4.3.2. Εξωγενής τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο .....	136
4.3.3. Εξωγενής τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο .....	139
4.3.4. Αντιπαραβολή των προτύπων για διαφορετικές τιμές της εξωγενής ζήτησης.....	142
4.3.5. Μη σταθερή εξωγενής τελική ζήτηση προϊόντων .....	144
<b>Κεφάλαιο 5 Επίλογος .....</b>	<b>152</b>
<b>5.1. Σύνοψη και Συμπεράσματα.....</b>	<b>152</b>
<b>5.2. Μελλοντικές Επεκτάσεις.....</b>	<b>153</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>154</b>



## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 2-1:</b> Βασικό πρότυπο εφοδιαστικής αλυσίδας. ....	25
<b>Σχήμα 3-1:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.1)–(3.7). 30	
<b>Σχήμα 3-2:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του δεύτερου σταδίου του προβλήματος (3.9)–(3.15). ....	33
<b>Σχήμα 3-3:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του πρώτου σταδίου του προβλήματος (3.17)–(3.23). ....	35
<b>Σχήμα 3-4:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.25)–(3.31). ....	37
<b>Σχήμα 3-5:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του πρώτου σταδίου προβλήματος (3.33)–(3.39). ....	38
<b>Σχήμα 3-6:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.42)–(3.49). ....	41
<b>Σχήμα 3-7:</b> Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του δεύτερου σταδίου του προβλήματος (3.50)–(3.60). ....	43
<b>Σχήμα 4-1:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος του 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ..	54
<b>Σχήμα 4-2:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	54
<b>Σχήμα 4-3:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	56
<b>Σχήμα 4-4:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το παράδειγμα αναφοράς. ....	57
<b>Σχήμα 4-5:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	57
<b>Σχήμα 4-6:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	59
<b>Σχήμα 4-7:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	61
<b>Σχήμα 4-8:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	61
<b>Σχήμα 4-9:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	63
<b>Σχήμα 4-10:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	64
<b>Σχήμα 4-11:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	65
<b>Σχήμα 4-12:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	66
<b>Σχήμα 4-13:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	68

<b>Σχήμα 4-14:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	68
<b>Σχήμα 4-15:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	70
<b>Σχήμα 4-16:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	71
<b>Σχήμα 4-17:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	72
<b>Σχήμα 4-18:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	73
<b>Σχήμα 4-19:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	76
<b>Σχήμα 4-20:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	76
<b>Σχήμα 4-21:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	77
<b>Σχήμα 4-22:</b> Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	78
<b>Σχήμα 4-23:</b> Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	79
<b>Σχήμα 4-24:</b> Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	80
<b>Σχήμα 4-25:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.1. ....	87
<b>Σχήμα 4-26:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.1. ....	87
<b>Σχήμα 4-27:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.1. ....	88
<b>Σχήμα 4-28:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.1. ....	88
<b>Σχήμα 4-29:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1. ....	90
<b>Σχήμα 4-30:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1. ....	90
<b>Σχήμα 4-31:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κόστος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1. ....	91

<b>Σχήμα 4-32:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1. ....	91
<b>Σχήμα 4-33:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2. ....	93
<b>Σχήμα 4-34:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2. ....	93
<b>Σχήμα 4-35:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2. ....	94
<b>Σχήμα 4-36:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2. ....	95
<b>Σχήμα 4-37:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.3. ....	96
<b>Σχήμα 4-38:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.3. ....	97
<b>Σχήμα 4-39:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.3. ....	97
<b>Σχήμα 4-40:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.3. ....	98
<b>Σχήμα 4-41:</b> Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	103
<b>Σχήμα 4-42:</b> Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	105
<b>Σχήμα 4-43:</b> Μεταβολή στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	106
<b>Σχήμα 4-44:</b> Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	110
<b>Σχήμα 4-45:</b> Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	111
<b>Σχήμα 4-46:</b> Μεταβολή στο συνολικό κέρδος των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής $x_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	112
<b>Σχήμα 4-47:</b> Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	116
<b>Σχήμα 4-48:</b> Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	118
<b>Σχήμα 4-49:</b> Μεταβολή στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_1$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. ....	119

<b>Σχήμα 4-50:</b> Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.....	123
<b>Σχήμα 4-51:</b> Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.....	124
<b>Σχήμα 4-52:</b> Μεταβολή στο συνολικό κέρδος των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_2$ για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.....	125
<b>Σχήμα 4-53:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.1. ....	143
<b>Σχήμα 4-54:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.2.1. ....	143
<b>Σχήμα 4-55:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.2.2. ....	143
<b>Σχήμα 4-56:</b> Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.3. ....	144
<b>Σχήμα 4- 57:</b> Γραφική απεικόνιση των ζητήσεων των τριών διαφορετικών προφίλ ζήτησης. ....	144

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 4.1:</b> Τιμές παραμέτρων παραγωγής, παραγγελιών και ζήτησης του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς. ....	52
<b>Πίνακας 4.2:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	53
<b>Πίνακας 4.3:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	55
<b>Πίνακας 4.4:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς ....	56
<b>Πίνακας 4.5:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	58
<b>Πίνακας 4.6:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και των κοστών του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	59
<b>Πίνακας 4.7:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	60
<b>Πίνακας 4.8:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	62
<b>Πίνακας 4.9:</b> : Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	64
<b>Πίνακας 4.10:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	65
<b>Πίνακας 4.11:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	66
<b>Πίνακας 4.12:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	67
<b>Πίνακας 4.13:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	69
<b>Πίνακας 4.14:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	71
<b>Πίνακας 4.15:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	73
<b>Πίνακας 4.16:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	74
<b>Πίνακας 4.17:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	75
<b>Πίνακας 4.18:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.....	77
<b>Πίνακας 4.19:</b> Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	78
<b>Πίνακας 4.20:</b> Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	79
<b>Πίνακας 4.21:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	80

<b>Πίνακας 4.22:</b> Ορισμός εκδοχών του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών ανάλογα με τον τρόπο λήψης αποφάσεων και τη χρήση πληροφοριών. ....	81
<b>Πίνακας 4.23:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	81
<b>Πίνακας 4.24:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. ....	83
<b>Πίνακας 4.25:</b> Οι διάφορες περιπτώσεις χρόνων υστέρησης που εξετάστηκαν. ....	85
<b>Πίνακας 4.26:</b> Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια. ....	86
<b>Πίνακας 4.27:</b> Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια. ....	89
<b>Πίνακας 4.28:</b> Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια. ....	92
<b>Πίνακας 4.29:</b> Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια. ....	95
<b>Πίνακας 4.30:</b> Οι διάφορες περιπτώσεις των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών που εξετάστηκαν.....	101
<b>Πίνακας 4.31:</b> Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής $x_1$ του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	102
<b>Πίνακας 4.32:</b> Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής $x_1$ του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	103
<b>Πίνακας 4.33:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου. ....	107
<b>Πίνακας 4.34:</b> Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής $x_2$ του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	109
<b>Πίνακας 4.35:</b> Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής $x_2$ του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	109
<b>Πίνακας 4.36:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου.....	114

<b>Πίνακας 4.37:</b> Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_1$ του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	115
<b>Πίνακας 4.38:</b> Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_1$ του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	116
<b>Πίνακας 4.39:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου. ....	120
<b>Πίνακας 4.40:</b> Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_2$ του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	121
<b>Πίνακας 4.41:</b> Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών $y_2$ του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. ....	122
<b>Πίνακας 4.42:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου. ....	127
<b>Πίνακας 4.43:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με άπειρη παραγωγική δυναμικότητα και για τα δύο στάδια ανά περίοδο. ....	129
<b>Πίνακας 4.44:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με άπειρη παραγωγική δυναμικότητα. ....	130
<b>Πίνακας 4.45:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με αυξημένα κόστη των υπεργολάβων των δύο σταδίων σε σχέση με τις τιμές του παραδείγματος αναφοράς. ....	131
<b>Πίνακας 4.46:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με αυξημένη τιμή αγοράς των προϊόντων από τους υπεργολάβους των δύο σταδίων. ....	132
<b>Πίνακας 4.47:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	134
<b>Πίνακας 4.48:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	136
<b>Πίνακας 4.49:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και	

παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	137
<b>Πίνακας 4.50:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	139
<b>Πίνακας 4.51:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	140
<b>Πίνακας 4.52:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	142
<b>Πίνακας 4.53:</b> Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 1 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 75 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	145
<b>Πίνακας 4.54:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 75 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 1). ....	145
<b>Πίνακας 4.55:</b> Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 2 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 60 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	146
<b>Πίνακας 4.56:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 2). ....	147
<b>Πίνακας 4.57:</b> Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 3 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 60 τεμαχίων ανά περίοδο. ....	148
<b>Πίνακας 4.58:</b> Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 3). ....	148
<b>Πίνακας 4.59:</b> Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τα παραδείγματα με μη σταθερή εξωγενή. ....	151



## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

---

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, παραθέτουμε μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της μεταπτυχιακής εργασίας.

### 1.1. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Μια εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα σύστημα οργανισμών, ανθρώπων, δραστηριοτήτων, εγκαταστάσεων, πληροφοριών και πόρων που απαιτούνται για τη μετακίνηση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας από τον προμηθευτή στον πελάτη. Οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας μετασχηματίζουν φυσικούς πόρους, πρώτες ύλες και εξαρτήματα σε ένα τελικό προϊόν που παραδίδεται στον τελικό πελάτη. [1]

Επίσης, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα είναι μια αλληλουχία ενεργειών τροφοδοσίας που ορίζεται από έναν ή περισσότερους κόμβους, όπου κάθε κόμβος έχει τους προμηθευτές και τους πελάτες του, μεταξύ των οποίων διακινούνται υλικά ή και πληροφορίες. Η εφοδιαστική αλυσίδα χαρακτηρίζεται παραδοσιακά από την εμπρός ροή των υλικών και την προς τα πίσω ροή των πληροφοριών (ζήτησης και πληρωμών).

Το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μεταβλητό, μπορεί δε να περιλαμβάνει είτε ενδοεπιχειρησιακές δραστηριότητες, είτε αλυσίδα επιχειρήσεων. Οι βασικές διαστάσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το πλήθος των κόμβων που την αποτελούν και ο λόγος του κόστους των κόμβων (*added value*) στο σύνολο της τιμής που καταλήγει το προϊόν στον τελικό κόμβο καταναλωτή.

Πολλές από τις συναλλαγές που συναντώνται στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι συνεπώς μεταξύ των διαφόρων εταιριών που επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν τα έσοδά τους μέσα στη σφαίρα των ενδιαφερόντων τους, αλλά μπορεί να έχουν μικρή ή καμία γνώση ή ενδιαφέρον για τους υπόλοιπους παίκτες στην εφοδιαστική αλυσίδα. Στα πλαίσια όμως της παγκοσμιοποιημένης οικονομίας, ο ανταγωνισμός κάνει αναγκαία την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και διάθεσης των προϊόντων, τη βέλτιστη χρήση κρίσιμων παραγωγικών πόρων, τη μείωση των αποθεμάτων, την ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης, τη σμίκρυνση των χρόνων παράδοσης, καθώς επίσης και τη δυνατότητα επικοινωνίας ακριβούς ημερομηνίας παράδοσης.

Κατά συνέπεια, γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη για ορθολογικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με τον όρο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας εννοούμε τη διαδικασία που περιλαμβάνει το σχεδιασμό,

την εφαρμογή και τον έλεγχο της αποτελεσματικής και αποδοτικής μεταφοράς και αποθήκευσης πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων, καθώς και τη διαχείριση πληροφοριών που σχετίζονται με τη διακίνηση προϊόντων από τους τόπους παραγωγής σε τόπους κατανάλωσης, με στόχο την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών. Περιλαμβάνει επίσης τις βασικές συνιστώσες του συντονισμού και της συνεργασίας με εταιρικά κανάλια, τα οποία μπορεί να είναι οι προμηθευτές, μεσάζοντες, τρίτοι πάροχοι υπηρεσιών και οι πελάτες. Στην ουσία, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ενσωματώνει την διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης εντός και μεταξύ των εταιριών. ( [2], [3])

Η εφοδιαστική διαχείριση βρίσκει εφαρμογή σε δύο κυρίως πεδία. Το πρώτο πεδίο είναι η επιχείρηση, η οποία πρέπει να οργανώσει την εισροή, την εσωτερική διακίνηση και την εκροή υλικών και προϊόντων κατά τέτοιον τρόπο, έτσι ώστε να εξασφαλίζει τη μέγιστη ικανοποίηση των πελατών της. Το δεύτερο πεδίο είναι η εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία αποτελείται από όλες εκείνες τις επιχειρήσεις και οργανισμούς που είναι απαραίτητοι έτσι ώστε ένα προϊόν, από πρώτες ύλες να καταλήξει στον τελικό πελάτη. Η αποτελεσματική οργάνωση και διοίκηση της ροής προϊόντων και πληροφοριών σε αυτήν την αλυσίδα αποτελεί επιτακτική ανάγκη σε μια παγκοσμιοποιημένη και ψηφιακή οικονομία, όπου ο ανταγωνισμός από ατομικός (επιχείρηση εναντίον επιχείρησης) γίνεται συλλογικός (εφοδιαστική αλυσίδα εναντίον εφοδιαστικής αλυσίδας). [4]

Ένα από τα πιο κοινά προβλήματα που σχετίζεται με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το φαινόμενο του μαστιγίου “Bullwhip Effect” . Το φαινόμενο αυτό στις εφοδιαστικές αλυσίδες αναφέρεται στην τάση αύξησης της μεταβλητότητας της ζήτησης και του μεγέθους των παραγγελιών αντίστοιχα, προχωρώντας στα διάφορα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή από τους πελάτες τελικών προϊόντων προς τους προμηθευτές πρώτων υλών. [5]

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που προκαλούν και συμβάλλουν στο φαινόμενο του μαστιγίου στις εφοδιαστικές αλυσίδες. Μερικοί από τους οποίους είναι οι παρακάτω ( [6], [7]):

1. Η έλλειψη της πληροφόρησης κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας και η αδυναμία πρόβλεψης της ζήτησης οδηγούν σε αναπροσαρμογές του ύψους των παραγγελιών και κατά επέκταση των αποθεμάτων με συνεπαγόμενη αύξηση της μεταβλητότητας του σήματος της ζήτησης.
2. Η ομαδοποίηση των παραγγελιών σε παρτίδες για λόγους οικονομίας κλίμακας .
3. Η διακύμανση στις τιμές αγοράς προϊόντων που οδηγούν σε αυξημένες παραγγελίες όταν οι τιμές είναι χαμηλές και σε μειωμένες παραγγελίες όταν οι τιμές είναι αυξημένες.

4. Η αύξηση των παραγγελιών όταν υπάρχει πιθανότητα μικρής διαθεσιμότητας για κάποιο προϊόν στο μέλλον.
5. Οι χρόνοι παράδοσης των προϊόντων που, όταν αυξάνονται, δημιουργούν την ανάγκη αύξησης των αποθεμάτων ασφαλείας, των επιπέδων αναπαραγγελίας και των ποσοτήτων παραγγελίας.

Κατά συνέπεια, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του φαινομένου του μαστιγίου σχετίζεται με τη μείωση της αβεβαιότητας της ζήτησης. Έτσι, η συγκέντρωση και διάχυση της πληροφόρησης της ζήτησης, δηλαδή, η παροχή άμεσης πρόσβασης όλων των σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας στην ζήτηση των τελικών πελατών (καταναλωτών), ή και η συνεργασία των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας για την από κοινού παραγωγή προβλέψεων, μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση του φαινομένου του μαστιγίου.

## **1.2. Κίνητρο Μεταπτυχιακής Εργασίας**

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Θαλής για το χρηματοδοτούμενο έργο «Οδυσσέας» με θέμα την *Ολιστική Διαχείριση της Μεταβλητότητας στις Σύγχρονες Εφοδιαστικές Αλυσίδες της Παγκοσμιοποιημένης Αγοράς*. Αποτελέσματα της εργασίας αυτής καταγράφονται στα Παραδοτέα 4.3 και 4.4. ([8], [9])

Κίνητρο για την παρούσα εργασία αποτέλεσε η κατανόηση της σπουδαιότητας του προγραμματισμού της παραγωγής [10], στα πλαίσια τόσο μιας επιχείρησης όσο και μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο προγραμματισμός της παραγωγής είναι η διαδικασία προσδιορισμού των ποσοτήτων παραγωγής που θα παραχθούν στις επόμενες χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα παραγωγής. Επιπλέον, ο προγραμματισμός παραγωγής προσδιορίζει τα αναμενόμενα επίπεδα των αποθεμάτων, καθώς το εργατικό δυναμικό και τους πόρους που είναι απαραίτητοι για την εφαρμογή του σχεδίου παραγωγής και πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση των προϊόντων, των εγκαταστάσεων παραγωγής καθώς και του χρόνου.

Στη σημερινή παγκοσμιοποιημένη αγορά, όπου το επιχειρηματικό περιβάλλον συνεχώς μεταβάλλεται, προωθείται η δημιουργία σχέσεων συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων/οργανισμών (προμηθευτές, λιανέμποροι, παραγωγοί, πελάτες) καθώς η έξυπνη διαχείριση στον ανεφοδιασμό των προϊόντων μπορεί να αποδώσει σημαντικά οικονομικά και επιχειρησιακά οφέλη. Η συνεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εφοδιαστικών αλυσίδων. Απόρροια της συνεργασίας αυτής είναι ότι πολλά από τα κόστη (προετοιμασίας, μεταφοράς, αποθήκευσης κτλ.)

μπορούν να διαμοιραστούν μεταξύ των παιχτών της αλυσίδας έτσι ώστε καθένας να αποκομίσει ένα κομμάτι από το συνολικό κέρδος.

Ο προγραμματισμός της παραγωγής καθώς ο καθορισμός της επιλογής του μεγέθους παρτίδα κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια περίπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να παρέχει προγράμματα παραγωγής παραγγελιών που να είναι βέλτιστα τόσο για τις μεμονωμένες επιχειρήσεις όσο και για το συνολικό δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας με σκοπό να ικανοποιείται η τελική ζήτηση των πελατών. Προκειμένου να επιτευχθούν τα προσδοκώμενα οφέλη, οι παίχτες πρέπει να διαθέσουν τα μεταξύ τους στοιχεία, δεδομένα και πληροφορίες και να λειτουργήσουν συνεργατικά παρά ανταγωνιστικά.

Η συνεργασία, δηλαδή ο συγκεντρωτικός τρόπος λήψης αποφάσεων, προϋποθέτει και την αντίστοιχη νοοτροπία, η οποία σπανίζει στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της σύγχρονης επιχειρηματικότητας, όπου οι εταιρίες δρουν ανταγωνιστικά και είναι επιφυλακτικές στο να γνωστοποιούν δεδομένα όπως κόστη, διάρκειες, προθεσμίες, περιθώρια κτλ. Επίσης, η συμφωνία προϋποθέτει την ύπαρξη ενός κοινώς αποδεκτού τρόπου απόδοσης του τελικού οφέλους.

Αντίθετα, ο αποκεντρωμένος τρόπος λήψης αποφάσεων εντείνει τον ανταγωνισμό ακόμα και μεταξύ εταιριών που βρίσκονται στο ίδιο κανάλι της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό συμβαίνει γιατί ο κάθε παίχτης της εφοδιαστικής αλυσίδας αποσκοπεί στο να αποκομίσει τα μέγιστα δυνατά οφέλη αγνοώντας τους υπόλοιπους παίχτες της αλυσίδας. Στην αποκεντρωμένη πολιτική η κάθε μονάδα της εφοδιαστικής αλυσίδας καθορίζει τα προγράμματα των παραγγελιών και της παραγωγής αγνοώντας ή παραμερίζοντας τους περιορισμούς και τους στόχους των άλλων μονάδων, ενώ παρατηρείται επίσης περιορισμένη διάχυση της πληροφόρησης μεταξύ των σταδίων της αλυσίδας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζουμε τόσο την συγκεντρωτική όσο και την αποκεντρωμένη πολιτική για τη λήψη αποφάσεων στα πλαίσια μιας εφοδιαστικής αλυσίδας υπό το πρίσμα της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, υιοθετούμε δυο στάδια παραγωγής, διαδοχικά στη σειρά, και αναπτύσσουμε διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης για τις διαφορετικές εκδοχές του προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών αυτής της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα μοντέλα που αναπτύσσουμε στην ανάλυσή μας διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το είδος της συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων, δηλαδή μεταξύ του τρόπου λήψης των αποφάσεων, οι οποίες λαμβάνονται είτε κεντρικά και ταυτόχρονα από τα δύο στάδια είτε αποκεντρωμένα, όπου σε αυτή την περίπτωση οι αποφάσεις μπορεί να λαμβάνονται είτε διαδοχικά από τα δύο στάδια είτε ταυτόχρονα.

Στην παρούσα εργασία θεωρώντας γνωστά τη ζήτηση των τελικών πελατών, τις τιμές των διάφορων κοστών, του χρόνου παραγωγής και παράδοσης των παραγγελιών καθώς και την παραγωγική δυναμικότητα των δύο σταδίων επιχειρούμε να αναδείξουμε ποια πολιτική λήψης αποφάσεων είναι η βέλτιστη για το σύστημα των δύο σταδίων. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφουμε τα κέρδη κάθε σταδίου αλλά και τα κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων με σκοπό την ανάδειξη του τρόπου συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων που επιφέρει τα μέγιστα οικονομικά οφέλη για το σύστημα.

### **1.3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

Υπάρχουν αρκετές μελέτες και δημοσιεύσεις που αφορούν τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και πιο συγκεκριμένα τον προγραμματισμό της παραγωγής της εφοδιαστικής αλυσίδας και την επιλογή του μεγέθους παρτίδας. Οι Tempelmeier και Derstroff [11] προτείνουν μια ευρετική προσέγγιση για την επιλογή μεγέθους παρτίδας στο δυναμικό, πολυεπίπεδο και πολλαπλών προϊόντων πρόβλημα σε γενικές δομές προϊόντων, όπου υπάρχουν πολλαπλοί αλλά περιορισμένοι πόροι, καθώς και χρόνοι στησίματος. Έτσι, αυτό το πρόβλημα της περιορισμένης δυναμικότητας με τη βοήθεια της χαλάρωσης Lagrange αποσυντίθεται σε αρκετά προβλήματα ενός μόνο προϊόντος και απεριόριστης δυναμικότητας από τη λύση των οποίων προκύπτουν κάτω όρια για την αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του κόστους.

Σε μεταγενέστερη μελέτη, ο Tempelmeier [12] πρότεινε μια προσέγγιση περιορισμένων πόρων για την επιλογή μεγέθους παρτίδας κατά τον προγραμματισμό απαιτούμενων υλικών (MRP), όπου υπάρχει συνεργασία μεταξύ του πρότυπου σχεδιασμού παραγωγής και των συστημάτων ελέγχου. Στην προσέγγιση αυτή το πρόβλημα επιλογής μεγέθους παρτίδας υποκαθίσταται από ένα δυναμικό, πολυεπίπεδο, πολλαπλών προϊόντων και περιορισμένων πόρων πρόβλημα, όπου υπάρχουν παράλληλα και χρόνοι στησίματος.

Οι Disney και Towill [13] συγκρίνουν την απόδοση μεταξύ της διαχείρισης του αποθέματος μέσω ενός πωλητή (διαχειριστή) της εφοδιαστικής αλυσίδας και της σειριακά συνδεδεμένης εφοδιαστικής αλυσίδας (παραδοσιακού τρόπου διάταξης της εφοδιαστικής αλυσίδας). Η έρευνα εστιάζει στην επίδραση που έχουν αυτές οι δύο δομές στο φαινόμενο του μαστιγίου (Bullwhip Effect) που δημιουργείται στην εφοδιαστική αλυσίδα. Πιο συγκεκριμένα, δίνουν έμφαση στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τις παραγγελίες που απαιτούνται για την παραγωγή με ένα μοντέλο προσομοίωσης διαφορετικών εξισώσεων από το οποίο προκύπτει ότι η πρώτη ανταποκρίνεται καλύτερα σε βίαιες αλλαγές των ζητήσεων.

Οι Saharidis et al. [14] προτείνουν δύο αναλυτικά μοντέλα για την επίλυση του προβλήματος του προγραμματισμού της παραγωγής σε μια εφοδιαστική αλυσίδα

που περιλαμβάνει πολλές επιχειρήσεις. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να αναλύσει και να συγκρίνει δύο διαφορετικά είδη βελτιστοποίησης, πιο συγκεκριμένα, του κεντρικού και του αποκεντρωμένου προγραμματισμού της παραγωγής και να εξετάσει ποια είναι τα οφέλη της κάθε πολιτικής συγκρίνοντας τα κέρδη των δύο περιπτώσεων. Συμπερασματικά, αποδεικνύουν την ανωτερότητα του συγκεντρωτικού μοντέλου έναντι του αποκεντρωμένου στην παραγωγή ενός προϊόντος από δύο μονάδες που συνεργάζονται.

Οι Buschkühl et al. [15] παρουσιάζουν μια ανασκόπηση των μοντελοποιήσεων αλλά και των διαφορετικών αλγορίθμων επίλυσης των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών για το δυναμικό πρόβλημα επιλογής μεγέθους παρτίδας, όταν υπάρχουν περιορισμοί δυναμικότητας. Επίσης, αναφέρουν ότι πολλά πρακτικά προβλήματα απομένουν να επιλυθούν παρόλο που σχεδόν βέλτιστες λύσεις χρησιμοποιούνται σε πρακτικό επίπεδο στη βιομηχανία, ενώ η μελέτη εστιάζεται στο διαχωρισμό του προβλήματος επιλογής μεγέθους παρτίδας και του προβλήματος αλληλουχίας και προγραμματισμού.

#### **1.4. Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας**

Στη συγκεκριμένη ενότητα περιγράφουμε συνοπτικά τα κεφάλαια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Το σύνολο αυτής της εργασίας χωρίζεται σε 5 ενότητες, που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 1 – 5 αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 1 (**Εισαγωγή**) προσπαθούμε να ορίσουμε την έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας και της διαχείρισής της. Επιπλέον, παραθέτουμε κάποιες βιβλιογραφικές πηγές που εντοπίσαμε σχετικά με τον προγραμματισμό παραγωγής και της επιλογής μεγέθους παρτίδας στις εφοδιαστικές αλυσίδες.

Στο Κεφάλαιο 2 (**Βασικό Πρότυπο Εφοδιαστικής Αλυσίδας**) αναλύουμε και περιγράφουμε τις υποθέσεις που διέπουν το βασικό πρότυπο και ορίζουμε τους μαθηματικούς συμβολισμούς που θα χρησιμοποιήσουμε για την μοντελοποίησή του. Επιπλέον, πραγματοποιούμε μια συνοπτική περιγραφή του προβλήματος και της λύσης του.

Στο Κεφάλαιο 3 (**Μαθηματικά Μοντέλα**) παραθέτουμε και αναλύουμε τις μαθηματικές μορφοποιήσεις για τις διαφορετικές εκδοχές του προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών για το βασικό πρότυπο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στο Κεφάλαιο 4 (**Αριθμητικά Αποτελέσματα**) παραθέτουμε τα αποτελέσματα των παραδειγμάτων που εκτελέσαμε.

Στο Κεφάλαιο 5 (**Επίλογος**) συνοψίζουμε τα κύρια σημεία της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, εξάγουμε τα βασικότερα συμπεράσματα, ενώ παράλληλα προτείνουμε κάποιες μελλοντικές προεκτάσεις.

Τέλος, στο Παράρτημα, που επισυνάπτεται σε ηλεκτρονική μορφή, παραθέτουμε τους κώδικες που αναπτύξαμε για τα μαθηματικά μοντέλα του Κεφαλαίου 3.

## Κεφάλαιο 2 Βασικό Πρότυπο Εφοδιαστικής Αλυσίδας

---

Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτουμε τις υποθέσεις που διέπουν το βασικό πρότυπο της εφοδιαστικής αλυσίδας που αναλύουμε στην συγκεκριμένη εργασία, καθώς και τους μαθηματικούς συμβολισμούς που θα χρησιμοποιήσουμε στο Κεφάλαιο 3 για την μορφοποίησή του. Τέλος, περιγράφουμε συνοπτικά το πρόβλημα και τη λύση του.

### 2.1. Υποθέσεις Προτύπου

Το βασικό πρότυπο μιας εφοδιαστικής αλυσίδας που εξετάζουμε στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αποτελείται από δύο στάδια παραγωγής στη σειρά, τα οποία όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 3 μπορούν να ανήκουν είτε στην ίδια εταιρία είτε σε διαφορετικές. Κάθε στάδιο διαθέτει μια αποθήκη πρώτων υλών, μια μονάδα παραγωγής και μια αποθήκη τελικών προϊόντων. Για το συγκεκριμένο πρότυπο κάνουμε τις εξής υποθέσεις:

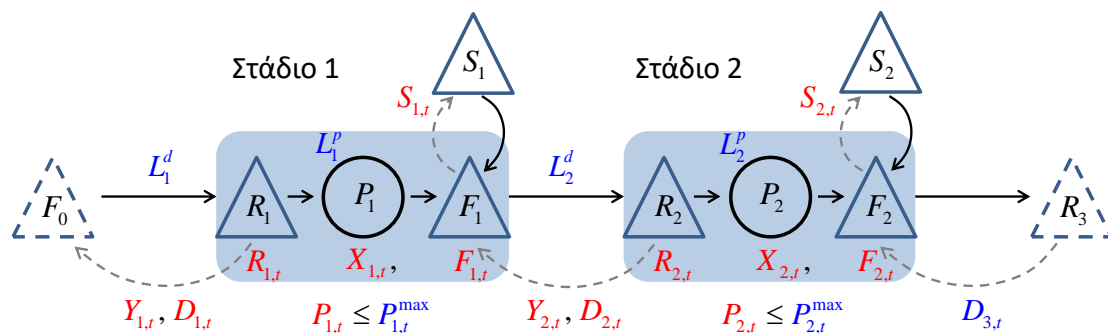
- ❑ Η μονάδα παραγωγής κάθε σταδίου παράγει μόνο έναν μόνο τύπο προϊόντων. Έχει περιορισμένη παραγωγική δυναμικότητα και ντετερμινιστικό χρόνο παραγωγής (**production lead time**) για κάθε παρτίδα παραγωγής.
- ❑ Τα τελικά προϊόντα του σταδίου 1 αποτελούν τις πρώτες ύλες για το επόμενο στάδιο (στάδιο 2), ενώ τα παραγόμενα προϊόντα από το στάδιο 2 προορίζονται για να καλύψουν τη ζήτηση των τελικών πελατών. Το τμήμα προμηθειών κάθε σταδίου παραγγέλλει προϊόντα για την αποθήκη πρώτων υλών του από το τμήμα παραγγελιών του προηγούμενου σταδίου (ή από έναν αρχικό προμηθευτή, όταν πρόκειται για το στάδιο 1). Το τελευταίο, μόλις δεχθεί μια παραγγελία, αμέσως αποστέλλει τα προϊόντα της παραγγελίας από την αποθήκη τελικών προϊόντων του, ενώ η παραγγελία αυτή καταφθάνει μετά από έναν χρόνο παράδοσης της παραγγελίας (**order lead time**). Έτσι, το στάδιο 2 δέχεται αρχικά παραγγελίες από τους τελικούς πελάτες και υποβάλλει τις παραγγελίες του στο στάδιο 1. Το στάδιο 1 με τη σειρά του δέχεται παραγγελίες από το στάδιο 2 και υποβάλλει παραγγελίες στην αρχική προμηθεύτρια εταιρία, η οποία δύναται να ικανοποιήσει οποιοδήποτε ποσότητα παραγγελίας.
- ❑ Στην περίπτωση που η παραγωγή ενός σταδίου δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις παραγγελίες που δέχεται, πιο συγκεκριμένα δηλαδή, όταν η αποθήκη των τελικών προϊόντων ενός σταδίου δεν μπορεί να καλύψει όλη την ποσότητα μιας παραγγελίας που προέρχεται από το τμήμα προμηθειών του επόμενου σταδίου (ή τους τελικούς πελάτες, όταν πρόκειται για το στάδιο 2), μεσολαβεί ένας εξωτερικός υπεργολάβος. Το κάθε στάδιο διαθέτει τον δικό του υπεργολάβο, τον οποίο τον επιστρατεύει για να συμπληρώσει την αποθήκη των τελικών προϊόντων με την ποσότητα που λείπει με σκοπό να καλυφθεί



όλη η παραγγελία. Ο υπερβολάβος δύναται να καλύψει οποιαδήποτε ποσότητα παραγγελίας, αλλά είναι ακριβός.

- Τα έσοδα κάθε σταδίου προέρχονται από τα προϊόντα που πωλεί, ενώ έξοδα προκύπτουν από τη διατήρηση αποθέματος στις αποθήκες πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του. Επιπρόσθετα, κάθε στάδιο επωμίζεται τα πάγια και μεταβλητά κόστη παραγωγής των παραγόμενων προϊόντων στο εργοστάσιο, και τα πάγια και μεταβλητά κόστη παραγγελίας των προϊόντων που παραγγέλλει. Όταν δε δύναται η παραγωγή κάθε σταδίου να καλύψει όλη τη ζήτηση τότε επωμίζεται και το κόστος των προϊόντων που προμηθεύεται από τον υπερβολάβο για τη συμπλήρωση της παραγγελίας.

Μια σχηματική διάταξη του βασικού προτύπου των δύο σταδίων φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2-1. Οι αποθήκες συμβολίζονται με τρίγωνα και οι μονάδες παραγωγής με κύκλους. Η ροή των προϊόντων πραγματοποιείται από τα αριστερά προς τα δεξιά (και από πάνω προς τα κάτω) και συμβολίζεται με μαύρα συμπαγή βέλη, ενώ η ροή της ζήτησης (παραγγελιών) πραγματοποιείται αντίθετα, δηλαδή από τα δεξιά προς τα αριστερά (και από κάτω προς τα πάνω) και συμβολίζεται με διακεκομμένα γκρι βέλη. Στο σχήμα διακρίνουμε επίσης τις μεταβλητές απόφασης με κόκκινο χρώμα και τις παραμέτρους με μπλε χρώμα.



Σχήμα 2-1: Βασικό πρότυπο εφοδιαστικής αλυσίδας.

Παρακάτω ακολουθεί η ονοματολογία των χώρων αποθήκευσης και παραγωγής που χρησιμοποιήσαμε στο άνωθεν σχήμα:

$R_i$ : αποθήκη πρώτων υλών (**raw materials**) του σταδίου  $i$ ,  $i=1,2$

$R_3$ : πηγή ζητήσεων πελατών

$P_i$ : μονάδα παραγωγής (**production unit**) του σταδίου  $i$ ,  $i=1,2$

$F_i$ : αποθήκη τελικών προϊόντων (**finished products**) του σταδίου  $i$ ,  $i=1,2$

$F_0$ : ανεξάντλητη πηγή αρχικών πρώτων υλών (μπορεί να ικανοποιήσει οποιαδήποτε ποσότητα παραγγελίας)

$S_i$ : ανεξάντλητος υπεργολάβος (**subcontractor**) του σταδίου  $i$ ,  $i=1,2$  (μπορεί να καλύψει οποιαδήποτε ποσότητα παραγγελίας)

## 2.2. Μαθηματικοί Συμβολισμοί (Παράμετροι και Μεταβλητές Απόφασης)

Στο παρόν υποκεφάλαιο παραθέτουμε τις παραμέτρους και τις μεταβλητές απόφασης που θα χρησιμοποιήσουμε για τη μαθηματική μορφοποίηση του βασικού προτύπου.

### ▪ Δείκτες

$T$ : ορίζοντας προγραμματισμού

$i$ : δείκτης σταδίου,  $i=1,2$

$t$ : δείκτης περιόδου,  $t=1,$

### ▪ Μεταβλητές απόφασης ( $i=1,2$ , $t=1,$ )

$P_{i,t}$ : (**ποσότητα παραγωγής**) ποσότητα προϊόντων που παράγει η μονάδα παραγωγής  $P_i$  την περίοδο  $t$ ,

$X_{i,t}$ : δυαδική μεταβλητή έναρξης ή μη της παραγωγής την περίοδο  $t$ , που παίρνει την τιμή 0, αν  $P_{i,t}=0$ , και 1, αν  $P_{i,t}>0$ ,

$R_{i,t}$ : απόθεμα των πρώτων υλών στην αποθήκη  $R_i$  στο τέλος της περιόδου  $t$ ,

$F_{i,t}$ : απόθεμα των τελικών προϊόντων στην αποθήκη  $F_i$  στο τέλος της περιόδου  $t$ ,

$D_{i,t}$ : (**ποσότητα παραγγελίας**) ποσότητα προϊόντων που παραγγέλλει η αποθήκη  $R_i$  από την αποθήκη  $F_{i-1}$  στο τέλος της περιόδου  $t$ ,

$Y_{i,t}$ : δυαδική μεταβλητή υποβολής ή μη παραγγελίας στο τέλος της περιόδου  $t$ , που παίρνει την τιμή 0, αν  $D_{i,t}=0$ , και 1, αν  $D_{i,t}>0$ ,

$S_{i,t}$ : (**ποσότητα υπεργολάβου**) ποσότητα προϊόντων που στέλνει ο υπεργολάβος  $S_i$  στην αποθήκη  $F_i$  για να συμπληρωθεί η παραγγελία  $D_{i+1,t}$  σε περίπτωση που δεν υπάρχουν αρκετά προϊόντα στην αποθήκη  $F_i$  στο τέλος της περιόδου  $t$ ,  $i=1,2$ .

■ **Παράμετροι παραγωγής, παραγγελιών και ζήτησης**

$P_{i,t}^{\max}$  : μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής  $P_i$ , του σταδίου  $i=1,2$ , την περίοδο,  $t$ ,  $t=1, \dots, T$ ,

$L_i^p$  : σταθερός χρόνος (**αριθμός περιόδων**) παραγωγής (**production lead time**) στην μονάδα παραγωγής  $P_i$ , του σταδίου  $i=1,2$ ,

$L_i^d$  : σταθερός χρόνος (**αριθμός περιόδων**) παράδοσης παραγγελίας (**order lead time**) από την αποθήκη  $F_{i-1}$  στην αποθήκη  $R_i$ , του σταδίου  $i=1,2$ ,

$D_{3,t}$  : (**εξωγενής τελική ζήτηση πελατών**) ποσότητα προϊόντων που ζητούν οι πελάτες από την αποθήκη  $F_2$  στο τέλος της περιόδου  $t$ ,  $t=1, \dots, T$ .

■ **Παράμετροι κόστους ( $i=1,2$ )**

$P_i$  : μοναδιαίο κόστος παραγωγής στη μονάδα παραγωγής  $P_i$ ,

$x_i$  : σταθερό κόστος προετοιμασίας παραγωγής στη μονάδα παραγωγής  $P_i$ ,

$r_i$  : μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος ανά περίοδο στην αποθήκη  $R_i$ ,

$f_i$  : μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος ανά περίοδο στην αποθήκη  $F_i$ ,

$d_i$  : μοναδιαία τιμή αγοράς προϊόντων στην αποθήκη  $R_i$  (συμπίπτει με την μοναδιαία τιμή πώλησης προϊόντων από την αποθήκη  $F_{i-1}$ ),  $i=1,2,3$ ,

$s_i$  : μοναδιαία τιμή αγοράς προϊόντων στην αποθήκη  $F_i$  (συμπίπτει με την μοναδιαία τιμή πώλησης προϊόντων από τον υπερβολάβο  $S_i$ ),

$y_i$  : σταθερό κόστος παραγγελίας προϊόντων στην αποθήκη  $R_i$ .

Για τις τιμές των παραπάνω συντελεστών κόστους υποθέτουμε τα εξής:

- Η τιμή πώλησης των προϊόντων από το ένα στάδιο στο επόμενο αυξάνεται καθώς προχωρούμε κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω της προστιθέμενης αξίας και του περιθωρίου κέρδους, δηλαδή,  $d_{i+1} > d_i$ ,  $i=1,2$ . Στην ουσία η μοναδιαία τιμή πώλησης προϊόντων σε κάθε στάδιο είναι μεγαλύτερη από την μοναδιαία τιμή αγοράς προϊόντων (πρώτων υλών) από το προηγούμενο στάδιο συν το μοναδιαίο κόστος παραγωγής, έτσι ώστε να μπορεί να είναι επικερδής η λειτουργία του κάθε σταδίου δίχως να προσμετρούνται τα

πάγια κόστη παραγγελίας και παραγωγής αλλά και διατήρησης αποθέματος πρώτων υλών και τελικών προϊόντων, δηλαδή:

$$d_{i+1} > d_i + p_i \quad i = 1,2 \quad (2.1)$$

- Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος των πρώτων υλών αλλά και των τελικών προϊόντων αντίστοιχα ισούται με το επιτόκιο ευκαιρίας  $I_i$  που ισχύει για το στάδιο  $i$  επί την μοναδιαία αξία του αποθηκευμένου προϊόντος, δηλαδή:

$$r_i = I_i \cdot d_i \quad i = 1,2 \quad (2.2)$$

$$f_i = I_i \cdot (d_i + p_i) \quad i = 1,2 \quad (2.3)$$

- Η μοναδιαία τιμή αγοράς προϊόντων από τον υπεργολάβο του κάθε σταδίου  $i$  είναι τουλάχιστον μεγαλύτερη από την μοναδιαία τιμή πώλησης των τελικών προϊόντων. Ο υπεργολάβος χρησιμοποιείται σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η κάλυψη της παραγγελίας από την παραγωγή αλλά είναι ακριβός, δηλαδή:

$$s_i > d_{i+1} \quad i = 1,2 \quad (2.4)$$

Η τιμή αγοράς από τον υπεργολάβο είναι δηλαδή τέτοια ώστε να είναι πιο συμφέρουσα για τον πελάτη η αγορά από το στάδιο  $i$ , που είναι ο κανονικός προμηθευτής του.

### 2.3. Συνοπτική Περιγραφή Προβλήματος και Λύσης

Θεωρούμε το πρόβλημα του συνολικού προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας (βασικό πρότυπο) σε έναν πεπερασμένο χρονικό ορίζοντα. Ο ορίζοντας είναι χωρισμένος σε  $T$  διακριτές ισομεγέθεις χρονικές περιόδους, και οι αποφάσεις λαμβάνονται μόνο στο τέλος κάθε περιόδου. Σε κάθε περίοδο  $t$  κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας λαμβάνουν χώρα τα εξής συμβάντα:

1. Η αποθήκη πρώτων υλών  $R_i$  παραλαμβάνει  $D_{i,t-1-L_i^d}$  προϊόντα από την αποθήκη  $F_{i-1}$  τα οποία έχει παραγγείλει  $L_i^d$  περιόδους νωρίτερα,  $i=1,2$ .
2. Η μονάδα παραγωγής  $P_i$  ξεκινάει να επεξεργάζεται μια παρτίδα  $P_{i,t}$  προϊόντων τα οποία αφαιρεί από την αποθήκη  $R_i$ ,  $i=1,2$ .

3. Η αποθήκη  $F_i$  παραλαμβάνει  $P_{i,t-L_i^p}$  προϊόντα από τη μονάδα παραγωγής  $P_i$  τα οποία έχουν εισαχθεί για επεξεργασία  $L_i^p$  περιόδους νωρίτερα. Παραλαμβάνει επίσης  $S_{i,t}$  προϊόντα από τον υπερβολάβο  $S_i$ ,  $i=1,2$ .
4. Η αποθήκη  $R_i$  (ή οι πελάτες, αν  $i=3$ ) παραγγέλλει  $D_{i,t}$  προϊόντα από την αποθήκη  $F_{i-1}$ ,  $i=1,2$ .
5. Η αποθήκη  $F_{i-1}$  αμέσως στέλνει  $D_{i,t}$  προϊόντα στην αποθήκη  $R_i$  (ή τα παραδίδει στους πελάτες, αν  $i=3$ ). Τα προϊόντα αυτά θα φτάσουν στον προορισμό τους στην αρχή της περιόδου  $t+1+L_i^d$ ,  $i=1,2$ .

Επιπλέον, για το συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούνται γνωστά τα εξής:

- η τελική ζήτηση των πελατών σε κάθε περίοδο, δηλαδή η ζήτηση που δέχεται το στάδιο 2,
- η παραγωγική δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής κάθε σταδίου,
- ο χρόνος παράδοσης των παραγγελιών και ο χρόνος παραγωγής κάθε σταδίου,
- τα πάγια και μεταβλητά κόστη των παραγγελιών και παραγωγής, τα μοναδιαία κόστη διατήρησης αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων καθώς και τα μοναδιαία κόστη των προϊόντων που προέρχονται από τον υπερβολάβο για κάθε στάδιο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω μορφοποιούμε το πρόβλημα προγραμματισμού και παραγγελιών του βασικού προτύπου για τις διαφορετικές εκδοχές συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας (οι μορφοποιήσεις αναλύονται στο Κεφάλαιο 3). Από την επίλυση κάθε εκδοχής λαμβάνουμε για κάθε στάδιο τα εξής:

- τις ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων κάθε μονάδας παραγωγής ανά περίοδο.
- τις ποσότητες παραγγελίας πρώτων υλών ανά περίοδο.
- τις ποσότητες των προϊόντων που λαμβάνονται από τον υπερβολάβο ανά περίοδο.
- τα συνεπαγόμενα επίπεδα των αποθεμάτων των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων για κάθε περίοδο.
- τα επιμέρους αλλά και τα συνολικά κόστη για κάθε περίοδο αλλά και για το συνολικό χρονικό ορίζοντα προγραμματισμού.

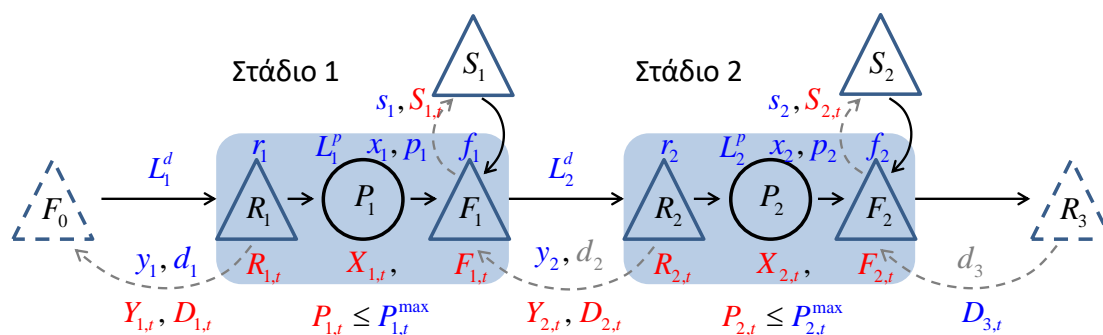
## Κεφάλαιο 3 Μαθηματικά Μοντέλα

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσουμε τα διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης για τις διαφορετικές εκδοχές του προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα συγκεκριμένα μοντέλα διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το είδος της συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων για την λήψη των αποφάσεων, οι οποίες λαμβάνονται είτε κεντρικά και ταυτόχρονα από τα δύο στάδια είτε αποκεντρωμένα, όπου σε αυτή την περίπτωση οι αποφάσεις μπορεί να λαμβάνονται είτε διαδοχικά από τα δύο στάδια είτε ταυτόχρονα.

### 3.1. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική λήψη αποφάσεων

Στο παρόν υποκεφάλαιο μορφοποιούμε το πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών ως ένα πρόβλημα κεντρικής λήψης αποφάσεων, όπου πραγματοποιείται η από κοινού μεγιστοποίηση των κερδών των δύο σταδίων με ταυτόχρονη ικανοποίηση της ζήτησης των πελατών σε τελικά προϊόντα και με παράλληλη εφαρμογή των περιορισμών που προκύπτουν από την λειτουργία του συστήματος. Στην προσέγγιση αυτή τα δύο στάδια ανήκουν είτε στην ίδια εταιρεία είτε όχι, αλλά συνεργάζονται για την από κοινού επίτευξη μέγιστης κερδοφορίας.

Στο παρακάτω Σχήμα 3-1 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του συστήματος των δύο σταδίων παραγωγής. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.1.



Σχήμα 3-1: Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.1)–(3.7).

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^2 (y_i Y_{i,t} + x_i X_{i,t} + p_i P_{i,t} + s_i S_{i,t} + r_i R_{i,t} + f_i F_{i,t}) + d_1 D_{1,t} \right] \quad (3.1)$$

$$\text{Subject to } R_{i,t} = R_{i,t-1} + D_{i,t-1-L_i^d} - P_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.2)$$

$$F_{i,t} = F_{i,t-1} + P_{i,t-L_i^p} + S_{i,t} - D_{i+1,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.3)$$

$$P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max} \cdot X_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.4)$$

$$D_{i,t} \leq M \cdot Y_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.5)$$

$$R_{i,t}, F_{i,t}, P_{i,t}, S_{i,t}, D_{i,t} \geq 0, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.6)$$

$$X_{i,t}, Y_{i,t} \in \{0,1\}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.7)$$

Το συγκεκριμένο πρόβλημα ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους προκύπτει από το αντίστοιχο πρόβλημα μεγιστοποίησης του συνολικού κέρδους (έσοδα - κόστος), καθώς η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του κόστους προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης, η οποία είναι εξής:

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^2 \left[ d_{i+1} D_{i+1,t} - (y_i Y_{i,t} + d_i D_{i,t} + x_i X_{i,t} + p_i P_{i,t} + s_i S_{i,t} + r_i R_{i,t} + f_i F_{i,t}) \right] \quad (3.8)$$

Στη συνάρτηση μεγιστοποίησης τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 2,  $\sum d_3 D_{3,t}$ , μπορούν να βγουν εκτός, δεδομένου ότι οι ζητήσεις  $D_{3,t}$  είναι παράμετροι του προβλήματος και όχι μεταβλητές απόφασης. Επίσης, τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 1,  $d_2 D_{2,t}$ , αναιρούνται από τα μεταβλητά κόστη αγοράς του σταδίου 2,  $-d_2 D_{2,t}$ . Κατά συνέπεια, η αντικειμενική συνάρτηση (3.8) μπορεί να γραφτεί απλούστερα ως η (3.1). Έτσι, οι τιμές  $d_2$  και  $d_3$  δεν επηρεάζουν τη βέλτιστη λύση, ενώ η τιμή αγοράς των αρχικών πρώτων υλών  $d_1$  την επηρεάζει.

Οι περιορισμοί (3.2) και (3.3) ορίζουν το ισοζύγιο ροής των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων αντίστοιχα στις αποθήκες του κάθε σταδίου. Ο περιορισμός (3.4) εκφράζει την παραγωγική δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής κάθε σταδίου σε κάθε περίοδο που εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη παραγωγής εκείνη την περίοδο. Ο περιορισμός (3.5) εκφράζει την υποβολή ή μη παραγγελίας πρώτων υλών για κάθε στάδιο σε κάθε περίοδο και είναι απαραίτητος, επειδή η υποβολή παραγγελίας συνοδεύεται από το σταθερό κόστος παραγγελίας. Το  $M$  συμβολίζει έναν πολύ μεγάλο αριθμό. Ο περιορισμός (3.6) εξασφαλίζει την μη αρνητικότητα

όλων των συνεχών μεταβλητών απόφασης που ορίζουν τις ποσότητες παραγγελιών και παραγωγής, καθώς τα επίπεδα των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων στις αποθήκες, αποτρέποντας έτσι τις ελλείψεις στο τέλος κάθε περιόδου. Τέλος, ο περιορισμός (3.7) ορίζει τις δυαδικές μεταβλητές που υποδηλώνουν την ύπαρξη ή μη παραγωγής και παραγγελίας αντίστοιχα.

### **3.2. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων όπου ηγείται το στάδιο 2**

Στο παρόν υποκεφάλαιο μορφοποιούμε το πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών ως ένα πρόβλημα αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων, στο οποίο ηγείται της λήψης αποφάσεων το στάδιο 2 και ακολουθεί το στάδιο 1. Πρακτικά στη θεώρηση αυτή τα δύο στάδια ανήκουν σε διαφορετικές εταιρίες, προσεγγίζοντας έτσι, τον παραδοσιακό τρόπο λειτουργίας των εφοδιαστικών αλυσίδων, σύμφωνα με τον οποίο οι αποφάσεις λαμβάνονται διαδοχικά κατά την φορά της ροής της πληροφορίας της ζήτησης που είναι αντίστροφη από τη φορά ροής των προϊόντων.

Αρχικά, η εταιρία του σταδίου 2 λαμβάνει τις αποφάσεις που ορίζουν το πρόγραμμα και τις ποσότητες παραγωγής, την προμήθεια από τον υπερβολάβο της  $S_2$  σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης από την παραγωγή, καθώς και τις παραγγελίες των πρώτων υλών από την προμηθεύτρια εταιρία του σταδίου 1, με στόχο τη μεγιστοποίηση των κερδών της και την ταυτόχρονη ικανοποίηση της ζήτησης των πελατών. Έπειτα η εταιρία του σταδίου 1 δεδομένου της ζήτησης του σταδίου 2 και με στόχο να την ικανοποιήσει, προγραμματίζει την παραγωγή της και τις παραγγελίες προς τον αρχικό προμηθευτή αλλά και την προμήθεια από τον υπερβολάβο  $S_1$ , έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει τα κέρδη της.

Για το πρόβλημα προγραμματισμού της παραγωγής και παραγγελιών 3.2. όπου ηγείται το στάδιο 2 θεωρούμε τις δύο διαφορετικές εκδοχές που ακολουθούν και προκύπτουν από το ποιο στάδιο έχει την υποχρέωση αποζημιώσει τον υπερβολάβο  $S_1$ .

#### **3.2.1. Αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών**

Στην πρώτη εκδοχή, το κόστος αγοράς των συμπληρωματικών προϊόντων από τον υπερβολάβο  $S_1$  το επωμίζεται εξολοκλήρου το στάδιο 1, το οποίο τα αγοράζει για να καλύψει τη ζήτηση του σταδίου 2 σε προϊόντα όταν δε μπορεί να την καλύψει από την παραγωγή του. Καθώς έχουμε υποθέσει ότι η μοναδιαία τιμή αγοράς από τον υπερβολάβο είναι μεγαλύτερη, δηλαδή  $s_1 > d_2$ , άρα το στάδιο 1 επωμίζεται με



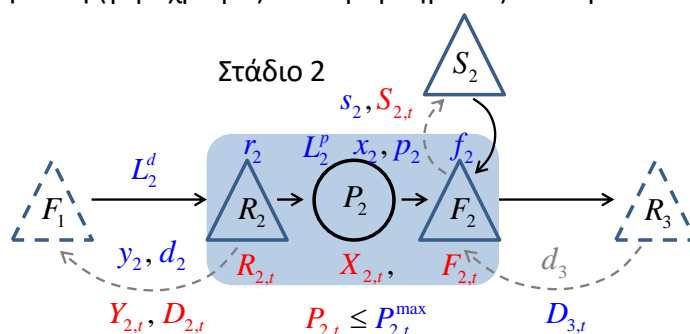
τη διαφορά κόστους  $s_1 - d_2$  ανά μονάδα προϊόντος που προμηθεύεται από τον υπεργολάβο για να καλύψει τις ανάγκες του σταδίου 2, όταν είναι απαραίτητο.

Εφόσον, το στάδιο 2 δεν επιβαρύνεται με το κόστος του υπεργολάβου και παραλαμβάνει τα προϊόντα από την προμηθεύτρια εταιρία του σταδίου 1 με τιμή  $d_2$ , δεν ενδιαφέρεται πως και με τι κόστος θα ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του σε πρώτες ύλες από το στάδιο 1. Έτσι, το στάδιο 2 λύνει αρχικά ένα αποκεντρωμένο πρόβλημα μεγιστοποίησης του δικού του κέρδους εφαρμόζοντας τους περιορισμούς που το αφορούν μόνο, παράγοντας τις βέλτιστες ποσότητες παραγωγής του,  $X_{2,t}$ ,  $P_{2,t}$ , προμήθειας από τον υπεργολάβο του,  $S_{2,t}$ , και παραγγελιών του,  $Y_{2,t}$  και  $D_{2,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{2,t}$  και  $F_{2,t}$ .

Έπειτα, το στάδιο 1 δεδομένου των ζητήσεων  $D_{2,t}$ , που προκύπτουν από την επίλυση του προβλήματος του σταδίου 2 που εισάγονται ως παράμετροι στο πρόβλημα, επιλύει το πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους του λαμβάνοντας του περιορισμούς που το αφορούν μόνον. Η επίλυση του αποκεντρωμένου προβλήματος του σταδίου 1 παράγει τις βέλτιστες ποσότητες παραγωγής του,  $X_{1,t}$ ,  $P_{1,t}$ , προμήθειας από τον υπεργολάβο του,  $S_{1,t}$ , και παραγγελιών του,  $Y_{1,t}$  και  $D_{1,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{1,t}$  και  $F_{1,t}$ .

### Το πρόβλημα του σταδίου 2 (ηγέτης)

Στο παρακάτω Σχήμα 3-2 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του σταδίου 2. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.2.1 για το στάδιο 2.



Σχήμα 3-2: Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του δεύτερου σταδίου του προβλήματος (3.9)–(3.15).

Το πρόβλημα αυτό του σταδίου 2 μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T (y_2 Y_{2,t} + d_2 D_{2,t} + x_2 X_{2,t} + p_2 P_{2,t} + s_2 S_{2,t} + r_2 R_{2,t} + f_2 F_{2,t}) \quad (3.9)$$

$$\text{Subject to } R_{2,t} = R_{2,t-1} + D_{2,t-1-L_2^d} - P_{2,t}, \quad t=1, \quad (3.10)$$

$$F_{2,t} = F_{2,t-1} + P_{2,t-L_2^p} + S_{2,t} - D_{3,t}, \quad t=1, \quad (3.11)$$

$$P_{2,t} \leq P_{2,t}^{\max} \cdot X_{2,t}, \quad t=1, \quad (3.12)$$

$$D_{2,t} \leq M \cdot Y_{2,t}, \quad t=1, \quad (3.13)$$

$$R_{2,t}, F_{2,t}, P_{2,t}, S_{2,t}, D_{2,t} \geq 0, \quad t=1, \quad (3.14)$$

$$X_{2,t}, Y_{2,t} \in \{0,1\}, \quad t=1, \quad (3.15)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του κόστους του σταδίου 2 (3.9) προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του κέρδους (έσοδα – κόστος) του σταδίου 2, η οποία είναι η εξής:

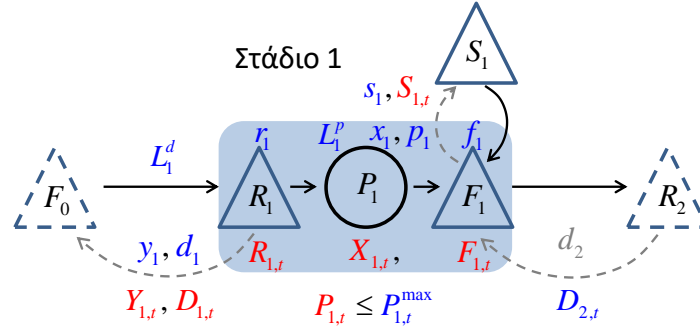
$$\max \sum_{t=1}^T d_3 D_{3,t} - (y_2 Y_{2,t} + d_2 D_{2,t} + x_2 X_{2,t} + p_2 P_{2,t} + s_2 S_{2,t} + r_2 R_{2,t} + f_2 F_{2,t}) \quad (3.16)$$

Στην αντικειμενική συνάρτηση (3.16) τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 2,  $\sum d_3 D_{3,t}$ , μπορούν να βγουν εκτός της μεγιστοποίησης δεδομένου ότι οι ζητήσεις  $D_{3,t}$  είναι γνωστές και όχι μεταβλητές απόφασης. Τα μεταβλητά κόστη αγοράς του σταδίου 2 ( $-d_2 D_{2,t}$ ) παραμένουν στην αντικειμενική συνάρτηση, καθότι δεν αναιρούνται από τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 1. Έτσι, τα μεταβλητά κόστη αγοράς του σταδίου 2 παραμένουν στην αντικειμενική συνάρτηση, η οποία γράφεται απλούστερα ως η (3.9). Κατά συνέπεια, η τιμή πώλησης τελικών προϊόντων  $d_3$  δεν επηρεάζει τη βέλτιστη λύση, ενώ η τιμή αγοράς πρώτων υλών  $d_2$  την επηρεάζει.

Οι περιορισμοί (3.10)–(3.15) είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.2)–(3.7) του προβλήματος κεντρικής λήψης αποφάσεων, με τη μόνη διαφορά ότι αφορούν το στάδιο 2 και όχι και τα δύο στάδια.

### Το πρόβλημα του σταδίου 1 (ακόλουθος)

Στο παρακάτω Σχήμα 3-3 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του σταδίου 1. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.2.1 για το στάδιο 1.



Σχήμα 3-3: Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του πρώτου σταδίου του προβλήματος (3.17)-(3.23).

Το πρόβλημα αυτό του σταδίου 1 μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + s_1 S_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.17)$$

$$\text{Subject to } R_{1,t} = R_{1,t-1} + D_{1,t-1-L_1^d} - P_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.18)$$

$$F_{1,t} = F_{1,t-1} + P_{1,t-L_1^p} + S_{1,t} - D_{2,t}, \quad t=1, \quad (3.19)$$

$$P_{1,t} \leq P_{1,t}^{\max} \cdot X_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.20)$$

$$D_{1,t} \leq M \cdot Y_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.21)$$

$$R_{1,t}, F_{1,t}, P_{1,t}, S_{1,t}, D_{1,t} \geq 0, \quad t=1, \quad (3.22)$$

$$X_{1,t}, Y_{1,t} \in \{0,1\}, \quad t=1, \quad (3.23)$$

Το πρόβλημα που ορίζεται από τους περιορισμούς (3.18)-(3.23) είναι πανομοιότυπο με το πρόβλημα (3.10)-(3.15), με τη μόνη διαφορά ότι όλες οι ποσότητες αφορούν το στάδιο 1. Αντίστοιχα και εδώ, η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του κόστους του σταδίου 1 (3.17) προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του κέρδους του σταδίου 1 (έσοδα – κόστη), η οποία μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\max \sum_{t=1}^T d_2 D_{2,t} - (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + s_1 S_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.24)$$

Στην αντικειμενική συνάρτηση (3.24), τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 1,  $\sum d_2 D_{2,t}$ , μπορούν να βγουν εκτός της μεγιστοποίησης δεδομένου ότι οι ζητήσεις  $D_{2,t}$  εισάγονται ως παράμετροι στο πρόβλημα και είναι ίσες με τις βέλτιστες τιμές του προβλήματος 3.2.1 για το στάδιο 2. Κατά συνέπεια, η αντικειμενική συνάρτηση (3.24) μπορεί να γραφτεί απλούστερα ως η (3.17). Έτσι, οι μόνες τιμές που επηρεάζουν την αντικειμενική συνάρτηση είναι η τιμή αγοράς των αρχικών πρώτων υλών,  $d_1$ , και η τιμή αγοράς από τον υπερβολάβο,  $s_1$ .

### 3.2.2. Κεντρική χρήση πληροφοριών

Στην δεύτερη εκδοχή, το κόστος αγοράς συμπληρωματικών προϊόντων από τον υπερβολάβο  $s_1$  επιβαρύνει το στάδιο 2 που αγοράζει αυτά τα προϊόντα μέσω του σταδίου 1. Όμως, το στάδιο 2 δεν γνωρίζει αν όλες οι παραγγελίες του για πρώτες ύλες θα ικανοποιηθούν από το στάδιο 1 στην μοναδιαία τιμή αγοράς  $d_2$  ή θα ικανοποιηθούν υποχρεωτικά από τον υπερβολάβο στην μοναδιαία τιμή αγοράς  $s_1$ , όπου  $s_1 > d_2$ , σε περίπτωση που κάποιες από τις απαιτήσεις του δεν μπορούν να καλυφθούν από την παραγωγή του σταδίου 1.

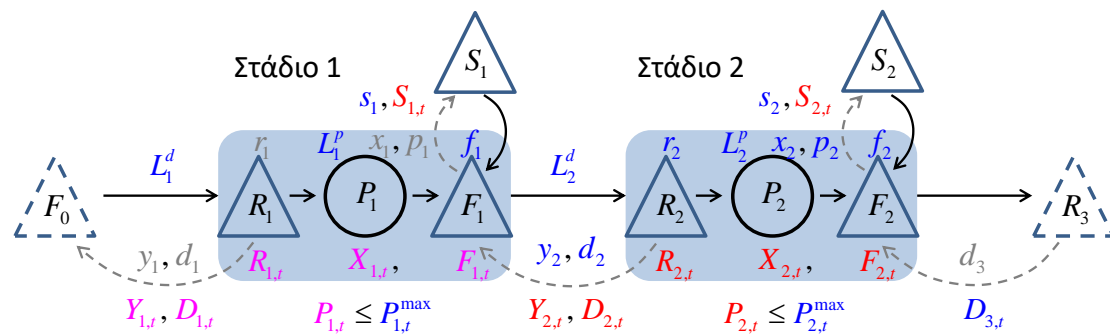
Έτσι, επιλύουμε αρχικά το πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους του σταδίου 2 και όχι του συνολικού κέρδους, λαμβάνοντας όμως υπόψη όλους του περιορισμούς (3.2)-(3.7) συμπεριλαμβανομένου των περιορισμών που αφορούν το στάδιο 1, ώστε να εξασφαλίσουμε ότι θα είναι εφικτή η λύση που θα προκύψει. Κατά συνέπεια, η επίλυση του προβλήματος του σταδίου 2 παράγει τις βέλτιστες ποσότητες παραγωγής του,  $X_{2,t}$ ,  $P_{2,t}$ , προμήθειας από τον υπερβολάβο του,  $S_{2,t}$ , παραγγελιών του,  $Y_{2,t}$  και  $D_{2,t}$ , αλλά και προμήθειάς του από τον υπερβολάβο του σταδίου 1,  $S_{1,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{2,t}$  και  $F_{2,t}$ . Επίσης, από την επίλυση του προβλήματος του σταδίου 2 προκύπτουν οι ποσότητες παραγωγής και παραγγελιών του σταδίου 1,  $X_{1,t}$ ,  $P_{1,t}$ ,  $Y_{1,t}$  και  $D_{1,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{1,t}$  και  $F_{1,t}$ . Οι ποσότητες αυτές είναι εφικτές και βέλτιστες για το στάδιο 2, αλλά μπορεί να μην είναι βέλτιστες για το στάδιο 1, αφού έχουν παραχθεί αγνοώντας την αντικειμενική συνάρτηση του σταδίου 1.

Στη συνέχεια, επιλύουμε το πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους του σταδίου 1 λαμβάνοντας υπόψη εκείνους τους περιορισμούς (3.2)-(3.7) που το αφορούν μόνον, θεωρώντας τις ζητήσεις  $D_{2,t}$  και τις ποσότητες που θα προμηθευτεί από τον υπερβολάβο του,  $S_{1,t}$  όχι πια ως μεταβλητές απόφασης αλλά ως παραμέτρους με τιμές ίσες με τις βέλτιστες τιμές που προκύπτουν από την επίλυση του προβλήματος

του σταδίου 2. Από την επίλυση αυτού προβλήματος προκύπτουν οι τελικές βέλτιστες ποσότητες παραγωγής και παραγγελιών του σταδίου 1,  $X_{1,t}$ ,  $P_{1,t}$ ,  $Y_{1,t}$  και  $D_{1,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{1,t}$  και  $F_{1,t}$ .

### Το πρόβλημα του σταδίου 2 (ηγέτης)

Στο παρακάτω Σχήμα 3-4 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.2.2 για το στάδιο 2.



Σχήμα 3-4: Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.25)-(3.31).

Το πρόβλημα αυτό του σταδίου 2 μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T (y_2 Y_{2,t} + d_2 D_{2,t} + (s_1 - d_2) S_{1,t} + x_2 X_{2,t} + p_2 P_{2,t} + s_2 S_{2,t} + r_2 R_{2,t} + f_2 F_{2,t}) \quad (3.25)$$

$$\text{Subject to } R_{i,t} = R_{i,t-1} + D_{i,t-1-L_i^d} - P_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.26)$$

$$F_{i,t} = F_{i,t-1} + P_{i,t-L_i^p} + S_{i,t} - D_{i+1,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.27)$$

$$P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max} \cdot X_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.28)$$

$$D_{i,t} \leq M \cdot Y_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.29)$$

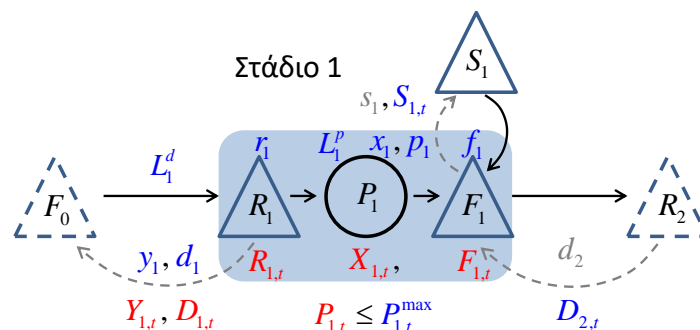
$$R_{i,t}, F_{i,t}, P_{i,t}, S_{i,t}, D_{i,t} \geq 0, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.30)$$

$$X_{i,t}, Y_{i,t} \in \{0,1\}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.31)$$

$$\max \sum_{t=1}^T d_3 D_{3,t} - \left( y_2 Y_{2,t} + d_2 D_{2,t} + (s_1 - d_2) S_{1,t} + x_2 X_{2,t} + p_2 P_{2,t} + s_2 S_{2,t} + r_2 R_{2,t} + f_2 F_{2,t} \right) \quad (3.32)$$

Οι περιορισμοί (3.26)-(3.31) είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.2)-(3.7) του προβλήματος κεντρικής λήψης αποφάσεων.

Στο παρακάτω Σχήμα 3-5 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.2.2 για το στάδιο 1.



38

Το πρόβλημα αυτό του σταδίου 1 μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\min \sum_{t=1}^T (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.33)$$

$$\text{Subject to } R_{1,t} = R_{1,t-1} + D_{1,t-1-L_1^d} - P_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.34)$$

$$F_{1,t} = F_{1,t-1} + P_{1,t-L_1^p} + S_{1,t} - D_{2,t}, \quad t=1, \quad (3.35)$$

$$P_{1,t} \leq P_{1,t}^{\max} \cdot X_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.36)$$

$$D_{1,t} \leq M \cdot Y_{1,t}, \quad t=1, \quad (3.37)$$

$$R_{1,t}, F_{1,t}, P_{1,t}, D_{1,t} \geq 0, \quad t=1, \quad (3.38)$$

$$X_{1,t}, Y_{1,t} \in \{0,1\}, \quad t=1, \quad (3.39)$$

Αντίστοιχα και δω, η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του κόστους του σταδίου 1 (3.33) προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του κέρδους του σταδίου 1 (έσοδα – κόστη), η οποία είναι η εξής:

$$\max \sum_{t=1}^T d_2 (D_{2,t} - S_{1,t}) - (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.40)$$

Στην αντικειμενική συνάρτηση (3.40) τα έσοδα πωλήσεων του σταδίου 1,  $\sum d_2 (D_{2,t} - S_{1,t})$ , μπορούν να βγουν εκτός της μεγιστοποίησης δεδομένου ότι οι ποσότητες  $D_{2,t} - S_{1,t}$  που το στάδιο 1 προμηθεύει στο στάδιο 2 δεν είναι μεταβλητές απόφασης, όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, αλλά θεωρούνται εξωγενείς παράμετροι που είναι ίσες με τις βέλτιστες τιμές του προβλήματος (3.25)-(3.31). Κατά συνέπεια, η αντικειμενική συνάρτηση (3.40) μπορεί να γραφτεί απλούστερα ως η (3.33). Αυτή σημαίνει ότι η μόνη τιμή που επηρεάζει την αντικειμενική συνάρτηση είναι η τιμή αγοράς των αρχικών πρώτων υλών,  $d_1$ .

Οι περιορισμοί (3.34)-(3.39) είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.2)-(3.7) του προβλήματος κεντρικής λήψης αποφάσεων με τη μόνη διαφορά ότι αφορούν μόνο το στάδιο 1.

### 3.3. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων όπου ηγείται το στάδιο 1

Στο παρόν υποκεφάλαιο, το πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών αντιμετωπίζεται ως ένα πρόβλημα αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων, στο οποίο ηγείται της λήψης αποφάσεων το στάδιο 1 και ακολουθεί το στάδιο 2. Η θεώρηση αυτή υπονοεί ότι τα δύο στάδια ανήκουν σε διαφορετικές εταιρίες.

Αρχικά, η εταιρία του σταδίου 1 επιλύει το πρόβλημα μεγιστοποίησης του δικού της κέρδους μόνο (και όχι του συνολικού κέρδους) προγραμματίζοντας την παραγωγή της και τις παραγγελίες της των αρχικών πρώτων υλών και φροντίζοντας παράλληλα να ικανοποιηθεί η ζήτηση των πελατών του σταδίου 2. Κατά την επίλυση αυτού του προβλήματος λαμβάνονται υπόψη όλοι οι περιορισμοί (3.2)-(3.7) ώστε να εξασφαλιστεί ότι η λύση που θα προκύψει θα είναι εφικτή και ταυτόχρονα θα ικανοποιεί τη ζήτηση των πελατών του σταδίου 2.

Από την επίλυση του προβλήματος του σταδίου 1 προκύπτουν οι βέλτιστες ποσότητες παραγωγής,  $X_{1,t}$ ,  $P_{1,t}$ , προμήθειας από τον πρώτο υπεργολάβο,  $S_{1,t}$ , και παραγγελιών,  $Y_{1,t}$  και  $D_{1,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{1,t}$  και  $F_{1,t}$ . Επίσης, παράγονται οι βέλτιστες ποσότητες παραγγελιών του σταδίου 2. Επιπρόσθετα, από την επίλυση του προβλήματος του σταδίου 1 παράγονται οι ποσότητες παραγωγής του σταδίου 2,  $X_{2,t}$ ,  $P_{2,t}$ , προμήθειας από τον δεύτερο υπεργολάβο,  $S_{2,t}$ , καθώς και τα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{2,t}$  και  $F_{2,t}$ . Οι ποσότητες αυτές είναι εφικτές και βέλτιστες για το στάδιο 1, επειδή έχουν υπολογιστεί με σκοπό να μεγιστοποιήσουν την αντικειμενική συνάρτηση του σταδίου 1, αλλά μπορεί να μην είναι βέλτιστες για το στάδιο 2, αφού έχουν παραχθεί αγνοώντας την αντικειμενική συνάρτηση του σταδίου 2.

Εφόσον, το στάδιο 1 αποφασίζει τις ποσότητες των πρώτων υλών που παραγγέλλει το στάδιο 2 από το στάδιο 1,  $D_{2,t}$ , είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι επωμίζεται και το πάγιο κόστος αυτών των παραγγελιών. Σε διαφορετική περίπτωση το στάδιο 1 θα μπορούσε να στέλνει σε κάθε περίοδο μια παραγγελία στο στάδιο 2 με αποτέλεσμα το πάγιο κόστος των παραγγελιών του σταδίου 2 να εκτιναχθεί στα ύψη.

Επίσης, είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι το σύνολο των παραγγελιών αυτών δεν ξεπερνάει το τμήμα της συνολικής ζήτησης των πελατών για τελικά προϊόντα του σταδίου 2 που ικανοποιείται από την παραγωγή του σταδίου 2, δηλαδή,

$$\sum_{t=1}^T D_{2,t} \leq \sum_{t=1}^T D_{3,t} - S_{2,t} \quad (3.41)$$

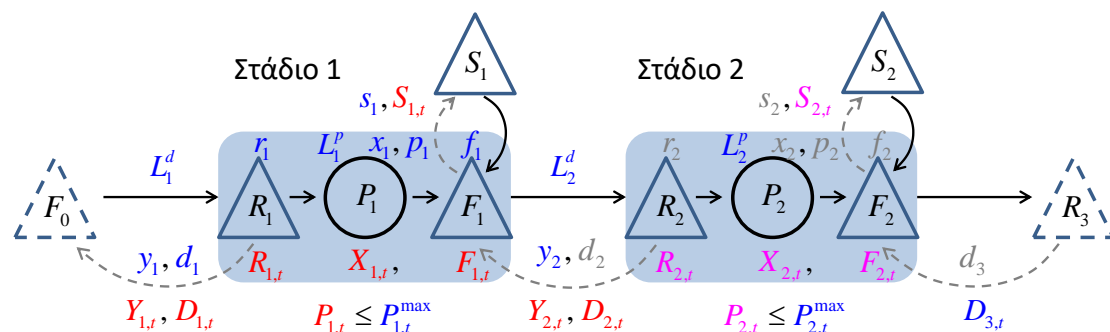


Σε διαφορετική περίπτωση, το στάδιο 1 θα μπορούσε να στέλνει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες παραγγελίας  $D_{2,t}$  από αυτές που απαιτούνται για την κάλυψη της ζήτησης των τελικών πελατών, κερδοσκοπώντας έτσι υπερβολικά εις βάρος του σταδίου 2. Βέβαια, υπάρχει ένας φυσικός μηχανισμός που αποτρέπει το στάδιο 1 από το αποφασίζει παράλογα μεγάλες παραγγελίες. Συγκεκριμένα, αν αποφασίσει παράλογα μεγάλες παραγγελίες, ενδέχεται να μην μπορεί να τις ικανοποιήσει με την παραγωγή του και να χρειάζεται να τις προμηθευτεί από τον υπεργολάβο  $S_1$ , αναλαμβάνοντας όμως και το σχετικό κόστος.

Στη συνέχεια, η εταιρία του σταδίου 2 λύνει το πρόβλημα μεγιστοποίησης του δικού του κέρδους προγραμματίζοντας την δική της παραγωγή αλλά όχι τις παραγγελίες της προς το στάδιο 1 (μιας και αυτές έχουν καθοριστεί από την επίλυση του προβλήματος του σταδίου 1) και φροντίζοντας παράλληλα να ικανοποιηθεί η ζήτηση των τελικών πελατών. Κατά την επίλυση του προβλήματος αυτού το στάδιο 2 λαμβάνει υπόψη εκείνους τους περιορισμούς (3.2)-(3.7) που το αφορούν μόνον, θεωρώντας τις ζητήσεις  $D_{2,t}$  όχι πια ως μεταβλητές απόφασης αλλά ως παραμέτρους με τιμές ίσες με τις βέλτιστες τιμές που προκύπτουν από την λύση του προβλήματος του σταδίου 1. Από την επίλυση του προβλήματος αυτού προκύπτουν οι τελικές βέλτιστες ποσότητες παραγωγής του σταδίου 2,  $X_{2,t}$  και  $P_{2,t}$ , καθώς και τα συνεπαγόμενα επίπεδα αποθεμάτων,  $R_{2,t}$  και  $F_{2,t}$ .

### Το πρόβλημα του σταδίου 1 (ηγέτης)

Στο παρακάτω Σχήμα 3-6 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.3 για το στάδιο 1.



Σχήμα 3-6: Μαθηματικοί συμβολισμοί και σχηματική δομή του προβλήματος (3.42)-(3.49).

Το πρόβλημα αυτό του σταδίου 1 μπορεί να μορφοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μεικτού ακέραιου προγραμματισμού ως εξής:

$$\max \sum_{t=1}^T d_2 D_{2,t} - (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + y_2 Y_{2,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + s_1 S_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.42)$$

$$\text{Subject to } R_{i,t} = R_{i,t-1} + D_{i,t-1-L_i^d} - P_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.43)$$

$$F_{i,t} = F_{i,t-1} + P_{i,t-L_i^p} + S_{i,t} - D_{i+1,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.44)$$

$$P_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max} \cdot X_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.45)$$

$$D_{i,t} \leq M \cdot Y_{i,t}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.46)$$

$$\sum_{t=1}^T D_{2,t} \leq \sum_{t=1}^T D_{3,t} - S_{2,t} \quad (3.47)$$

$$R_{i,t}, F_{i,t}, P_{i,t}, S_{i,t}, D_{i,t} \geq 0, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.48)$$

$$X_{i,t}, Y_{i,t} \in \{0,1\}, \quad i=1,2 \quad t=1, \quad (3.49)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του κέρδους του σταδίου 1 (έσοδα – κόστη), (3.42), είναι παρόμοια με την (3.24) με την διαφορά ότι συμπεριλαμβάνει το επιπρόσθετο πάγιο κόστος  $-\sum y_2 Y_{2,t}$ . Στην (3.42), τα έσοδα των πωλήσεων του σταδίου 1,  $\sum d_2 D_{2,t}$ , δεν μπορούν να βγουν εκτός της μεγιστοποίησης δεδομένου ότι οι ζητήσεις  $D_{2,t}$  είναι μεταβλητές απόφασης, όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, ενώ στην περίπτωση της συνάρτησης (3.24), βγαίνουν εκτός επειδή δεν είναι μεταβλητές απόφασης. Αυτό σημαίνει ότι και η τιμή αγοράς των αρχικών πρώτων υλών,  $d_1$ , και η τιμή πώλησης τελικών προϊόντων,  $d_2$ , επηρεάζουν την αντικειμενική συνάρτηση (3.42). Ο καινούργιος περιορισμός (3.47) προστέθηκε στην ουσία για να εξασφαλίσει ότι το στάδιο 1 δεν θα κερδοσκοπήσει εις βάρος του σταδίου 2 προμηθεύοντάς το με παραπανήσια προϊόντα προκειμένου να αυξήσει το κέρδος του. Οι υπόλοιποι περιορισμοί του σταδίου 1 είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.2)-(3.7).

### Το πρόβλημα του σταδίου 2 (ακόλουθος)

Στο παρακάτω Σχήμα 3-7 αναπαριστάται σχηματικά η δομή του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, αποτυπώνονται οι μεταβλητές απόφασης (κόκκινο χρώμα), οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λύση (μπλε χρώμα) και οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν τη λύση (γκρι χρώμα) του προβλήματος 3.3 για το στάδιο 1.



αναφέρθηκε πρωτίτερα, αλλά θεωρούνται εξωγενείς παράμετροι που είναι ίσες με τις βέλτιστες τιμές του προβλήματος (3.42)-(3.49). Οπότε, η αντικειμενική συνάρτηση (3.57) γράφεται απλούστερα ως η (3.50). Κατά συνέπεια, η βέλτιστη λύση δεν επηρεάζεται ούτε από την τιμή πώλησης των τελικών προϊόντων  $d_3$  ούτε από την τιμή αγοράς πρώτων υλών  $d_2$ .

Οι περιορισμοί (3.51)-(3.56) είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.10)-(3.15) με τη διαφορά ότι οι ποσότητες  $D_{2,t}$  δεν είναι μεταβλητές απόφασης.

### 3.4. Πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων

Στο παρόν υποκεφάλαιο αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών ως ένα πρόβλημα αποκεντρωμένης παράλληλης λήψης αποφάσεων, στο οποίο δεν ηγείται κανένα στάδιο. Στη θεώρηση αυτή υπονοούμε ότι τα δύο στάδια ανήκουν σε διαφορετικές εταιρίες.

Στο πρόβλημα αυτό, όπως και στο πρόβλημα (3.9)-(3.15), η εταιρία του σταδίου 2 λύνει το πρόβλημα μεγιστοποίησης του δικού της κέρδους προγραμματίζοντας την παραγωγή της, τις προμήθειές της από τον υπερβολάβο της  $S_2$ , και τις παραγγελίες της προς την (προμηθεύτρια) εταιρία του σταδίου 1 και ικανοποιώντας παράλληλα τη ζήτηση των πελατών. Η διαφορά με το πρόβλημα (3.9)-(3.15) είναι ότι η τιμή αγοράς πρώτων υλών  $d_2$  δεν μια προαποφασισμένη παράμετρος αλλά καθορίζεται από τη εταιρία του σταδίου 1.

Με την σειρά της, η εταιρία του σταδίου 1 προγραμματίζει την δική της παραγωγή, τις προμήθειές της από τον υπερβολάβο της  $S_1$  και τις παραγγελίες της προς τον αρχικό προμηθευτή, με σκοπό να επιτύχει ένα προκαθορισμένο ελάχιστο περιθώριο κέρδους, ικανοποιώντας τη ζήτηση του σταδίου 2. Για το σκοπό αυτό καθορίζει την τιμή πώλησης των προϊόντων της,  $d_2$ .

Κατά συνέπεια, η λύση του ενός προβλήματος επηρεάζει την λύση του άλλου προβλήματος. Για την επίλυση του προβλήματος 3.4 των δύο σταδίων υιοθετούμε την προσέγγιση ενός επαναληπτικού αλγορίθμου, όπου σύμφωνα με τον οποίο συμβαίνουν τα εξής:

- το στάδιο 2 υποβάλλει ένα αρχικό πρόγραμμα παραγγελιών στο στάδιο 1,  $D_{2,t}^{(0)}$ ,  $t=1$ , , θεωρώντας μια αρχική τιμή αγοράς πρώτων υλών  $d_2^{(0)}$  (π.χ. με βάση ιστορικά δεδομένα).

- το στάδιο 1 παίρνει το πρόγραμμα παραγωγής  $D_{2,t}^{(0)}$ ,  $t=1, \dots$ , το κοστολογεί και υπολογίζει το περιθώριο κέρδους του στην τιμή  $d_2^{(0)}$ . Αν το περιθώριο κέρδους είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο ελάχιστο όρο, αποδέχεται την τιμή  $d_2^{(0)}$  και οι δύο εταίροι έρχονται σε συμφωνία. Αν το περιθώριο κέρδους είναι μικρότερο από το προκαθορισμένο ελάχιστο όρο, τότε το στάδιο 1 υπολογίζει την ελάχιστη τιμή  $d_2^{(1)}$  που επιτυγχάνει το προκαθορισμένο περιθώριο κέρδους και την προσφέρει στο στάδιο 2.
- το στάδιο 2 υποβάλλει ένα ενημερωμένο πρόγραμμα παραγγελιών στο στάδιο 1,  $D_{2,t}^{(1)}$ ,  $t=1, \dots$ , λαμβάνοντας υπόψη την ενημερωμένη τιμή  $d_2^{(1)}$ .
- το στάδιο 1 παίρνει το ενημερωμένο πρόγραμμα παραγωγής, το κοστολογεί εκ νέου και υπολογίζει το περιθώριο κέρδους του στην ενημερωμένη τιμή  $d_2^{(1)}$ . Αν το περιθώριο κέρδους είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο ελάχιστο όρο, αποδέχεται την τιμή  $d_2^{(1)}$  και οι δύο εταίροι έρχονται σε συμφωνία. Αν το περιθώριο κέρδους είναι μικρότερο από το προκαθορισμένο ελάχιστο όρο, τότε το στάδιο 1 υπολογίζει την ελάχιστη τιμή  $d_2^{(2)}$  που επιτυγχάνει το προκαθορισμένο περιθώριο κέρδους και την προσφέρει στο στάδιο 2.

Η διαδικασία προσφορών και αντιπροσφορών επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να βρεθούν μοναδικές τιμές ισορροπίας, ενδέχεται να μπορεί να βρεθούν κύκλοι ισορροπίας, δηλαδή τιμές οι οποίες επαναλαμβάνονται με μια περιοδικότητα μεγαλύτερη του ενός.

Η ιδέα είναι ότι για χαμηλή τιμή  $d_2$ , το στάδιο 2 θα τείνει να κάνει μεγάλες παραγγελίες στο στάδιο 1 αρκετά αραιά. Κατά συνέπεια, θα υπάρχει η τάση να αυξάνονται τα κόστη του σταδίου 1 αφού θα αναγκάζεται να αυξάνει το απόθεμα τελικών προϊόντων του για να μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση του σταδίου 2 αποφεύγοντας τις έκτακτες προμήθειες από τον υπεργολάβο  $S_1$ . Κατά συνέπεια, το στάδιο 1 δεν θα πιάνει το προκαθορισμένο περιθώριο κέρδους του και έτσι θα επανέρχεται στο στάδιο 2 με αυξημένη τιμή  $d_2$ . Για υψηλότερη τιμή  $d_2$ , το στάδιο 2 θα τείνει να παραγγέλνει μικρότερες ποσότητες από το στάδιο 1 λιγότερο αραιά. Η πιο στρωτή ροή παραγγελιών θα τείνει να μειώσει τα κόστη του σταδίου 1, επιτρέποντάς του να προσφέρει τα προϊόντα του σε χαμηλότερη τιμή.

Σχηματικά, ο επαναληπτικός αλγόριθμος έχει ως εξής:

1. Αρχικοποίηση  $d_2^{(0)}$
2.  $k=1$
3.  $d_2^{(k-1)} \rightarrow$  Πρόβλημα σταδίου 2  $\rightarrow D_{2,t}^{(k)}$ ,  $t=1, \dots$       Πρόβλημα σταδίου 1  $\rightarrow d_2^{(k)}$

- Αν  $d_2^{(k)} = d_2^{(i)}$  για κάποιο  $i = 0, \dots$  τότε πήγαινε στο 5.
4. Διαφορετικά,  $k = k + 1$  και πήγαινε στο 3.
5.  $D_{2,t}^* = D_{2,t}^{(k)}, t = 1, \dots$   $d_2^* = d_2^{(k)}$

Οι μορφοποιήσεις των δύο προβλημάτων παρατίθενται στη συνέχεια.

### Το πρόβλημα του σταδίου 2

$$\min \sum_{t=1}^T (y_2 Y_{2,t} + \textcolor{blue}{d}_2 \textcolor{blue}{D}_{2,t} + x_2 X_{2,t} + p_2 P_{2,t} + s_2 S_{2,t} + r_2 R_{2,t} + f_2 F_{2,t}) \quad (3.58)$$

$$\text{Subject to } R_{2,t} = R_{2,t-1} + \textcolor{red}{D}_{2,t-1-L_2^d} - P_{2,t}, \quad t = 1, \quad (3.59)$$

$$F_{2,t} = F_{2,t-1} + P_{2,t-L_2^p} + S_{2,t} - D_{3,t}, \quad t = 1, \quad (3.60)$$

$$P_{2,t} \leq P_{2,t}^{\max} \cdot X_{2,t}, \quad t = 1, \quad (3.61)$$

$$\textcolor{red}{D}_{2,t} \leq M \cdot Y_{2,t}, \quad t = 1, \quad (3.62)$$

$$R_{2,t}, F_{2,t}, P_{2,t}, S_{2,t}, \textcolor{red}{D}_{2,t} \geq 0, \quad t = 1, \quad (3.63)$$

$$X_{2,t}, Y_{2,t} \in \{0,1\}, \quad t = 1, \quad (3.64)$$

Το πρόβλημα (3.58)-(3.64) του σταδίου 2 είναι πανομοιότυπο με το πρόβλημα (3.9)–(3.15) που αντιστοιχεί στην περίπτωση της αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων όπου το στάδιο 2 είναι ο ηγέτης και το στάδιο 1 επιβαρύνεται με το κόστος προμήθειας προϊόντων από τον υπερβολάβο  $S_1$ . Η μόνη διαφορά είναι ότι η τιμή  $d_2$  στην οποία το στάδιο 2 αγοράζει τα προϊόντα από το στάδιο 1 είναι αποτέλεσμα της επίλυσης του προβλήματος του σταδίου 1 που ακολουθεί. Στο ίδιο αυτό πρόβλημα, οι βέλτιστες ποσότητες παραγγελίας  $D_{2,t}$  εισάγονται ως παράμετροι.

### Το πρόβλημα του σταδίου 1

$$\min \textcolor{red}{d}_2 \quad (3.65)$$

$$\text{Subject to } \sum_{t=1}^T \textcolor{blue}{d}_2 \textcolor{blue}{D}_{2,t} \geq (1 + \beta) (y_1 Y_{1,t} + d_1 D_{1,t} + x_1 X_{1,t} + p_1 P_{1,t} + s_1 S_{1,t} + r_1 R_{1,t} + f_1 F_{1,t}) \quad (3.66)$$

$$R_{1,t} = R_{1,t-1} + D_{1,t-1-L_1^d} - P_{1,t}, \quad t = 1, \quad (3.67)$$

$$F_{1,t} = F_{1,t-1} + P_{1,t-L_1^p} + S_{1,t} - \textcolor{blue}{D}_{2,t}, \quad t = 1, \quad (3.68)$$

$$P_{1,t} \leq P_{1,t}^{\max} \cdot X_{1,t}, \quad t = 1, \quad (3.69)$$

$$D_{1,t} \leq M \cdot Y_{1,t}, \quad t = 1, \quad (3.70)$$

$$R_{1,t}, F_{1,t}, P_{1,t}, S_{1,t}, D_{1,t}, d_2 \geq 0, \quad t = 1, \quad (3.71)$$

$$X_{1,t}, Y_{1,t} \in \{0,1\}, \quad t = 1, \quad (3.72)$$

Οι περιορισμοί (3.67)-(3.72) του προβλήματος του σταδίου 1 είναι πανομοιότυποι με τους περιορισμούς (3.18)-(3.23) του προβλήματος που αντιστοιχεί στην περίπτωση της αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων όπου το στάδιο 2 είναι ο ηγέτης και το στάδιο 1 επιβαρύνεται με το κόστος προμήθειας προϊόντων από τον υπεργολάβο  $S_1$ . Η μόνη διαφορά είναι ότι η τιμή  $d_2$  στην οποία το στάδιο 1 πωλεί προϊόντα είναι μεταβλητή απόφασης, ενώ οι ποσότητες παραγγελίας  $D_{2,t}$  είναι παράμετροι (αποτέλεσμα της επίλυσης του προβλήματος του σταδίου 2).

Ο περιορισμός (3.66) είναι νέος και υποδηλώνει ότι το κέρδος του σταδίου 1 θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από ένα ποσοστό (περιθώριο)  $\beta$  επί του κόστους. Η αντικειμενική συνάρτηση (3.65) έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει την τιμή πώλησης  $d_2$ .

## Κεφάλαιο 4 Αριθμητικά Αποτελέσματα

---

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης των διαφορετικών εκδοχών του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Για την μοντελοποίηση των διαφορετικών αυτών εκδοχών αναπτύχθηκαν ξεχωριστοί κώδικες σε γλώσσα προγραμματισμού C++ σε περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2010, ενώ για την επίλυση έγινε χρήση του λογισμικού πακέτου βελτιστοποίησης προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού IBM ILOG CPLEX (Version 12.1.5). Στο Παράρτημα, παρατίθενται πλήρως οι κώδικες που αναπτύχθηκαν για τα προβλήματα του Κεφαλαίου 3.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας εκτελέστηκαν πληθώρα πειράματα. Τα αναλυτικά αποτελέσματα αυτών (γραφήματα, κώδικες, πίνακες) επισυνάπτονται σε ηλεκτρονική μορφή στο τέλος της εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτουμε συνοπτικά και συγκεντρωτικά κάποια αποτελέσματα της μελέτης μας.

### 4.1. Αριθμητικό Παράδειγμα Αναφοράς του Βασικού Προτύπου της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα δεδομένα αλλά και τα αποτελέσματα που αφορούν το παράδειγμα αναφοράς που αναπτύξαμε για τον έλεγχο και την ανάλυση των διαφορετικών μοντέλων μορφοποίησης του συστήματος παραγωγής δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας που παρουσιάστηκαν πρωτίτερα στο Κεφάλαιο 3.

#### 4.1.1. Τιμές παραμέτρων του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς του βασικού προτύπου εφοδιαστικής αλυσίδας

Παρακάτω πραγματοποιούμε μια καταγραφή των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για το αριθμητικό παράδειγμα του βασικού προτύπου της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων, καθώς και το σκεπτικό επιλογής τους.

##### *Τιμές δεικτών*

$T = 24$ : Ο χρονικός ορίζοντας χωρίζεται σε 24 διακριτές ισομεγέθεις περιόδους, όπου κάθε περίοδος θα μπορούσε να αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα ενός μήνα οπότε η ανάλυσή μας πραγματοποιείται για το συνολικό διάστημα των 24 μηνών, δηλαδή δύο ετών, είτε στο χρονικό διάστημα της μιας εβδομάδας οπότε η ανάλυσή μας πραγματοποιείται στο διάστημα ενός εξαμήνου.



### Τιμές παραμέτρων παραγωγής, παραγγελιών και ζήτησης

$$P_{1,t}^{\max} = 100, P_{2,t}^{\max} = 100 :$$

Η μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα της μονάδας παραγωγής κάθε σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας ορίζεται στις 100 μονάδες ανά περίοδο. Επιλέγουμε ίδια τιμή και για τα δύο στάδια, έτσι ώστε οι αποφάσεις και το συνεπαγόμενο κέρδος κάθε σταδίου να μην επηρεάζονται από τυχόν διαφορές μεταξύ της παραγωγικής τους ικανότητας, αλλά από τη θέση τους στην εφοδιαστική αλυσίδα και τον τρόπο λήψης αποφάσεων (κεντρικά ή αποκεντρωμένα, με κεντρική ή αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών).

$$L_1^p = 0, L_2^p = 0 :$$

Ο χρόνος παραγωγής είναι σταθερός και ορίζεται σε μηδέν περιόδους και για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό σημαίνει ότι η εκκίνηση και η ολοκλήρωση μιας παρτίδας παραγωγής πραγματοποιείται στο διάστημα μιας περιόδου.

$$L_1^d = 0, L_2^d = 0 :$$

Ο χρόνος παράδοσης παραγγελίας είναι σταθερός και ορίζεται σε μηδέν περιόδους και για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό σημαίνει ότι μια παραγγελία που δίνεται στο τέλος μια περιόδου ικανοποιείται στην αρχή της επόμενης περιόδου.

$$D_{3,t} = 75, t = 1, \dots :$$

Οι ζητήσεις των τελικών πελατών είναι ίδιες για κάθε περίοδο και ίσες με το 75% της παραγωγικής δυναμικότητας της μονάδας παραγωγής κάθε σταδίου με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σχετική ευελιξία στην παραγωγή, έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλη ανάγκη για καταφυγή στον υπερβολάβο. Επιλέγουμε ίδιες τιμές για τις εξωγενείς ζητήσεις για κάθε περίοδο, έτσι ώστε τυχόν διαφορές στις βέλτιστες αποφάσεις και στο συνεπαγόμενο κέρδος κάθε σταδίου να μην σχετίζονται με το προφίλ της ζήτησης αλλά με τη θέση των δύο σταδίων μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα και με τον τρόπο λήψης αποφάσεων (κεντρικά ή αποκεντρωμένα, με κεντρική ή αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών).

### Τιμές παραμέτρων κόστους

$$d_1 = 50.$$

Η τιμή αγοράς των πρώτων υλών για το πρώτο στάδιο από τον αρχικό προμηθευτή ορίζεται σε 50 χρηματικές μονάδες ανά μονάδα προϊόντος και αποτελεί τη βάση για τον ορισμό των υπόλοιπων κοστών.

$$y_1 = 20 \cdot d_1 = 20 \cdot 50 = 1000.$$

Το σταθερό κόστος παραγγελίας του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 1000 χρηματικές μονάδες, δηλαδή 20 φορές μεγαλύτερο από το μοναδιαίο (μεταβλητό) κόστος αγοράς.

$$r_1 = 0,02 \cdot d_1 = 0,02 \cdot 50 = 1.$$

Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος των πρώτων υλών του πρώτου σταδίου ορίζεται να είναι ίσο με το μοναδιαίο (μεταβλητό) κόστος αγοράς επί ένα επιτόκιο ίσο με 2% ανά περίοδο.

$$p_1 = 50.$$

Το μοναδιαίο κόστος παραγωγής του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 50 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι ίσο με το μοναδιαίο κόστος αγοράς πρώτων υλών. Κατά συνέπεια, το κόστος του κάθε παραγόμενου προϊόντος είναι κατά το ήμισυ κόστος υλικών και κατά το άλλο ήμισυ προστιθέμενη αξία παραγωγής.

$$x_1 = 10 \cdot p_1 = 10 \cdot 50 = 500.$$

Το σταθερό κόστος προετοιμασίας παραγωγής για την μονάδα παραγωγής του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 500 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 10 φορές μεγαλύτερο από το μοναδιαίο κόστος παραγωγής και μισό του σταθερού κόστους παραγγελίας.

$$f_1 = 0,02 \cdot (d_1 + p_1) = 0,02 \cdot (50 + 50) = 2.$$

Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 2 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι ίσο με το μοναδιαίο κόστος του παραγόμενου προϊόντος επί ένα επιτόκιο ίσο με 2% ανά περίοδο.

$$d_2 = (d_1 + p_1) + 50 = (50 + 50) + 50 = 150.$$

Η τιμή πώλησης των τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου (ίση με την τιμή αγοράς των πρώτων υλών του δεύτερου σταδίου από το πρώτο στάδιο) ορίζεται σε 150 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 50 χρηματικές μονάδες πάνω από το μοναδιαίο κόστος του παραγόμενου προϊόντος. Αυτή η προσαύξηση είναι αναγκαία για την κάλυψη των

κοστών του πρώτου σταδίου αλλά και για να υπάρχει ένα ικανοποιητικό περιθώριο κέρδους.

$$s_1 = d_2 + 20 = 150 + 20 = 170 .$$

Η μοναδιαία τιμή πώλησης των έτοιμων προϊόντων του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 170 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 20 χρηματικές μονάδες μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου.

$$y_2 = 20 \cdot d_2 = 20 \cdot 150 = 3000 .$$

Το σταθερό κόστος παραγγελίας του δεύτερου σταδίου ορίζεται σε 3000 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 20 φορές μεγαλύτερο από το μοναδιαίο (μεταβλητό) κόστος αγοράς.

$$r_2 = 0,02 \cdot d_2 = 0,02 \cdot 150 = 3 .$$

Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος των πρώτων υλών του δεύτερου σταδίου ορίζεται σε 3 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι ίσο με το μοναδιαίο (μεταβλητό) κόστος αγοράς επί ένα επιτόκιο ίσο με 2% ανά περίοδο.

$$p_2 = 50 .$$

Το μοναδιαίο κόστος παραγωγής του δεύτερου σταδίου ορίζεται σε 50 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι ίσο με το μοναδιαίο κόστος παραγωγής του δεύτερου σταδίου. Κατά συνέπεια, το κόστος κάθε παραγόμενου προϊόντος του δεύτερου σταδίου αποτελείται κατά τα  $\frac{3}{4}$  από το κόστος υλικών και κατά το  $\frac{1}{4}$  από την προστιθέμενη αξία παραγωγής.

$$x_2 = 10 \cdot p_2 = 10 \cdot 50 = 500 .$$

Το σταθερό κόστος προετοιμασίας παραγωγής στην μονάδα παραγωγής του πρώτου σταδίου ορίζεται σε 500 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 10 φορές μεγαλύτερο από το μοναδιαίο κόστος παραγωγής και είναι το  $\frac{1}{6}$  του σταθερού κόστους παραγγελίας.

$$f_2 = 0,02 \cdot (d_2 + p_2) = 0,02 \cdot (150 + 50) = 4 .$$

Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθέματος τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου ορίζεται σε 4 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι ίσο με το μοναδιαίο κόστος του παραγόμενου προϊόντος επί ένα επιτόκιο ίσο με 2% ανά περίοδο.

$$d_3 = (d_2 + p_2) + 50 = (150 + 50) + 50 = 250 .$$

Η τιμή πώλησης των τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου στους τελικούς πελάτες ορίζεται σε 250 χρηματικές μονάδες, δηλαδή 50

χρηματικές μονάδες πάνω από το μοναδιαίο κόστος του παραγόμενου προϊόντος. Αυτή η προσαύξηση είναι αναγκαία για την κάλυψη των κοστών του δεύτερου σταδίου αλλά και για να υπάρχει ένα ικανοποιητικό περιθώριο κέρδους.

$$s_2 = d_3 + 20 = 250 + 20 = 270.$$

Η μοναδιαία τιμή πώλησης έτοιμων προϊόντων του υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου ορίζεται 270 χρηματικές μονάδες, δηλαδή είναι 20 χρηματικές μονάδες μεγαλύτερη από την τιμή πώλησης τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου.

Στον παρακάτω Πίνακα 4.1 αναγράφονται συνοπτικά οι τιμές των παραμέτρων του παραδείγματος αναφοράς.

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{3,t}$	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
$t$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$D_{3,t}$	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Πίνακας 4.1: Τιμές παραμέτρων παραγωγής, παραγγελιών και ζήτησης του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς.

Παράμετρος	Στάδιο	
	$i = 1$	$i = 2$
$P_{i,t}^{\max} \quad t = 1,$	100	100
$L_i^p$	0	0
$L_i^d$	0	0
$d_i$	50	150
$y_i$	1000	3000
$r_i$	1	3
$p_i$	50	50
$x_i$	500	500
$f_i$	2	4
$s_i$	170	270

#### 4.1.2. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.1, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Ο Πίνακας 4.2 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο δεύτερο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Να σημειωθεί ότι οι τιμές της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$ ,  $t=1,$  , στη δεύτερη στήλη είναι παράμετροι και όχι μεταβλητές απόφασης. Στην τελευταία σειρά του πίνακα δίνονται οι «συντελεστές μεταβλητότητας» (*coefficient of variation* ή CV) των τιμών κάθε

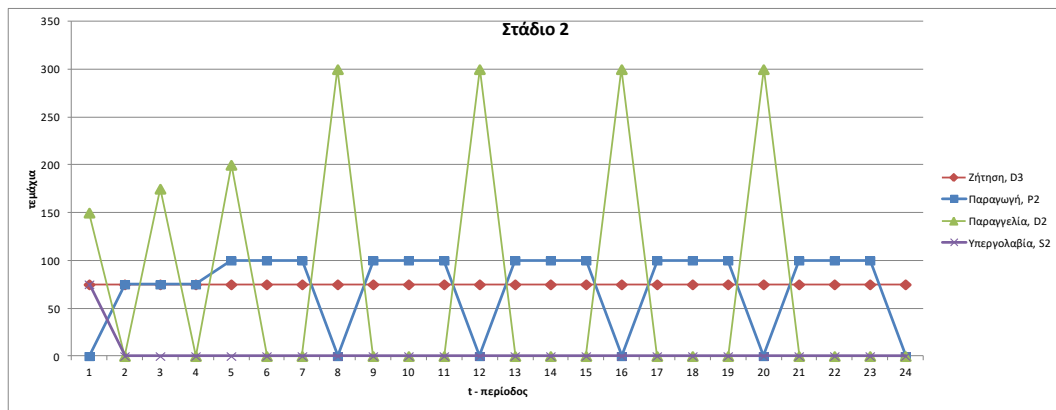
στήλης που ορίζονται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης των τιμών προς τον μέσο όρο.

Στον πίνακα αυτόν, ο συντελεστής μεταβλητότητας της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$  είναι μηδέν, καθώς η ζήτηση είναι ίδια σε όλες τις περιόδους. Αντίθετα, ο συντελεστής μεταβλητότητας της ενδιάμεσης ζήτησης  $D_{2,t}$  είναι 1,6644. Αυτό συμβαίνει γιατί το δεύτερο στάδιο παραγγέλνει μεγάλες ποσότητες μόνον σε 7 από τις 24 περιόδους, για να εξοικονομήσει από το σταθερό κόστος παραγγελίας, ενώ τις υπόλοιπες περιόδους δεν παραγγέλνει καθόλου. Τέλος, ο υπερβολάβος του δεύτερου σταδίου  $S_2$  καλείται να καλύψει τη ζήτηση μόνον της πρώτης περιόδου (η οποία δεν μπορεί να καλυφθεί διαφορετικά) λόγω του μεγάλου κόστους του.

t	$D_{3t}$	$P_{2t}$	$X_{2t}$	$D_{2t}$	$Y_{2t}$	$R_{2t}$	$F_{2t}$	$S_{2t}$
1	75	0	0	150	1	0	0	75
2	75	75	1	0	0	75	0	0
3	75	75	1	175	1	0	0	0
4	75	75	1	0	0	100	0	0
5	75	100	1	200	1	0	25	0
6	75	100	1	0	0	100	50	0
7	75	100	1	0	0	0	75	0
8	75	0	0	300	1	0	0	0
9	75	100	1	0	0	200	25	0
10	75	100	1	0	0	100	50	0
11	75	100	1	0	0	0	75	0
12	75	0	0	300	1	0	0	0
13	75	100	1	0	0	200	25	0
14	75	100	1	0	0	100	50	0
15	75	100	1	0	0	0	75	0
16	75	0	0	300	1	0	0	0
17	75	100	1	0	0	200	25	0
18	75	100	1	0	0	100	50	0
19	75	100	1	0	0	0	75	0
20	75	0	0	300	1	0	0	0
21	75	100	1	0	0	200	25	0
22	75	100	1	0	0	100	50	0
23	75	100	1	0	0	0	75	0
24	75	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1800</b>	<b>1725</b>	<b>18</b>	<b>1725</b>	<b>7</b>	<b>1475</b>	<b>750</b>	<b>75</b>
<b>CV</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,6008</b>	<b>0,5898</b>	<b>1,6644</b>	<b>1,5919</b>	<b>1,2465</b>	<b>0,9510</b>	<b>4,8990</b>

Πίνακας 4.2: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

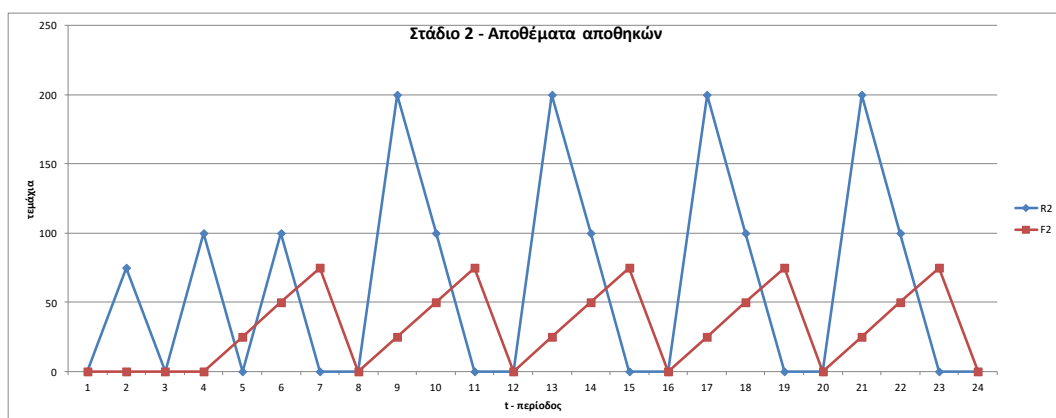
Στο Σχήμα 4-1 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου.



**Σχήμα 4-1: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπεργολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος του 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα αξίζει να σημειωθεί ότι η τελική ζήτηση και οι ποσότητες του υπεργολάβου (αν εξαιρέσουμε την πρώτη περίοδο) έχουν σταθερή τιμή. Αντίθετα, οι βέλτιστες ποσότητες παραγωγής και παραγγελιών ακολουθούν ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο με περιοδικότητα τεσσάρων εβδομάδων αν εξαιρέσουμε βέβαια τις πρώτες και τις τελευταίες περιόδους του ορίζοντα προγραμματισμού, καθώς το σύστημα της εφοδιαστικής αλυσίδας βρίσκεται σε μια μεταβατική κατάσταση (ξεκινάει και καταλήγει με μηδέν προϊόντα).

Στο Σχήμα 4-2 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται και πάλι η περιοδικότητα των τεσσάρων περιόδων, όπως στο Σχήμα 4-1.



**Σχήμα 4-2: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

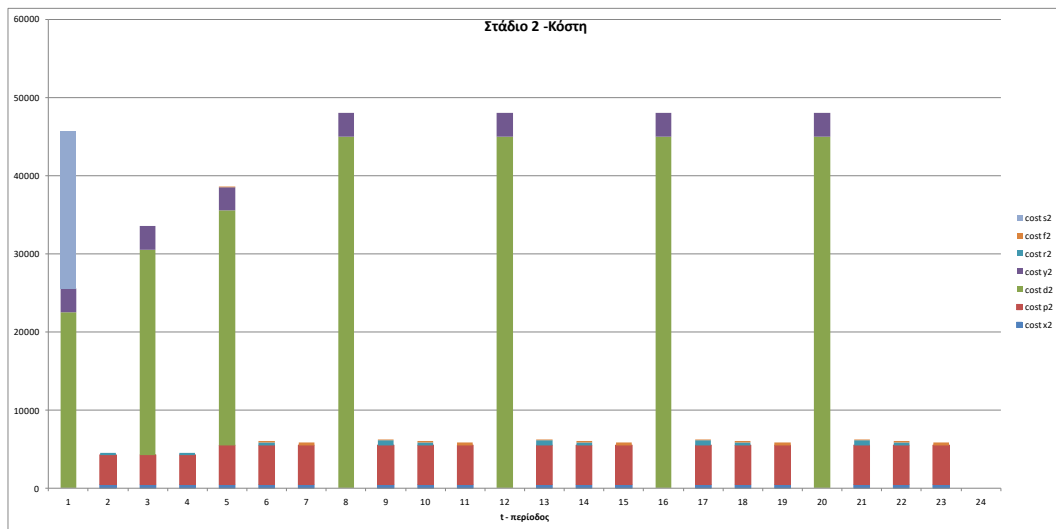
Ο Πίνακας 4.3 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του δεύτερου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως το γινόμενο των μεταβλητών απόφασης επί τους μοναδιαίους συντελεστές κόστους. Η τελευταία σειρά δίνει το άθροισμα των τιμών για όλες τις περιόδους.

Όπως φαίνονται από τον παρακάτω πίνακα, τα συνολικά έσοδα του δεύτερου σταδίου είναι 450.000€, ενώ το συνολικό κόστος που προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους κοστών είναι 402.675€. Η μεγαλύτερη συνιστώσα του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από το πρώτο στάδιο,  $\sum d_2 D_{2,t}$  = 258.750€. Τα συνολικά κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι 450.000 – 402.675 = 47.325€.

t	$d_3 D_{3t}$	$p_2 P_{2t}$	$x_2 X_{2t}$	$d_2 D_{2t}$	$y_2 Y_{2t}$	$r_2 R_{2t}$	$f_2 F_{2t}$	$s_2 S_{2t}$
1	18750	0	0	22500	3000	0	0	20250
2	18750	3750	500	0	0	225	0	0
3	18750	3750	500	26250	3000	0	0	0
4	18750	3750	500	0	0	300	0	0
5	18750	5000	500	30000	3000	0	100	0
6	18750	5000	500	0	0	300	200	0
7	18750	5000	500	0	0	0	300	0
8	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
9	18750	5000	500	0	0	600	100	0
10	18750	5000	500	0	0	300	200	0
11	18750	5000	500	0	0	0	300	0
12	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
13	18750	5000	500	0	0	600	100	0
14	18750	5000	500	0	0	300	200	0
15	18750	5000	500	0	0	0	300	0
16	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
17	18750	5000	500	0	0	600	100	0
18	18750	5000	500	0	0	300	200	0
19	18750	5000	500	0	0	0	300	0
20	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
21	18750	5000	500	0	0	600	100	0
22	18750	5000	500	0	0	300	200	0
23	18750	5000	500	0	0	0	300	0
24	18750	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>450000</b>	<b>86250</b>	<b>9000</b>	<b>258750</b>	<b>21000</b>	<b>4425</b>	<b>3000</b>	<b>20250</b>

**Πίνακας 4.3: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Στο Σχήμα 4-3 αποτυπώνονται γραφικά τα κόστη του δεύτερου σταδίου ανά περίοδο, ενώ παράλληλα φαίνεται η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς πρώτων υλών σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστη.



Σχήμα 4-3: Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης για το πρώτο στάδιο.

t	$D_{2t}$	$P_{1t}$	$X_{1t}$	$D_{1t}$	$Y_{1t}$	$R_{1t}$	$F_{1t}$	$S_{1t}$
1	150	0	0	375	1	0	0	150
2	0	75	1	0	0	300	75	0
3	175	100	1	0	0	200	0	0
4	0	100	1	0	0	100	100	0
5	200	100	1	300	1	0	0	0
6	0	100	1	0	0	200	100	0
7	0	100	1	0	0	100	200	0
8	300	100	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	300	1	0	0	0
10	0	100	1	0	0	200	100	0
11	0	100	1	0	0	100	200	0
12	300	100	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	300	1	0	0	0
14	0	100	1	0	0	200	100	0
15	0	100	1	0	0	100	200	0
16	300	100	1	0	0	0	0	0
17	0	0	0	300	1	0	0	0
18	0	100	1	0	0	200	100	0
19	0	100	1	0	0	100	200	0
20	300	100	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1725	1575	16	1575	5	1800	1375	150
CV	1,6644	0,7264	0,7223	2,0027	1,9913	1,2588	1,3464	4,8990

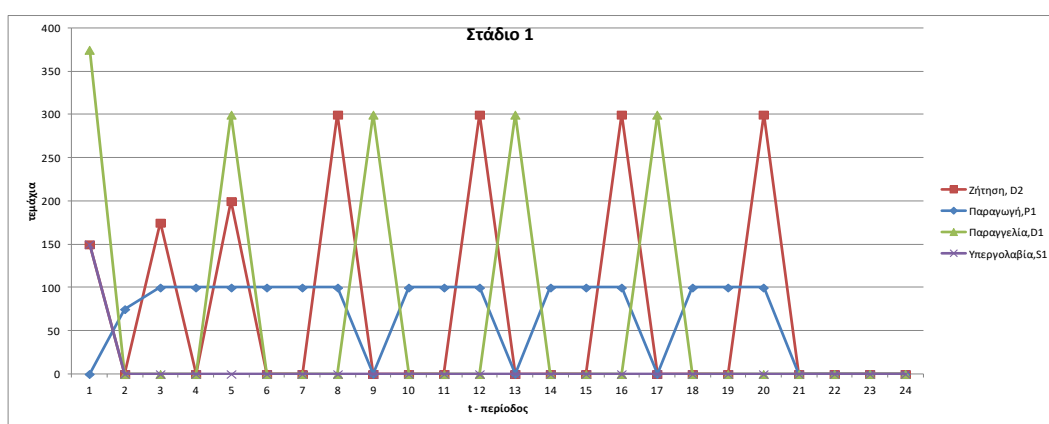
Πίνακας 4.4: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς

Στον παραπάνω πίνακα ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών πρώτων υλών  $D_{1,t}$  είναι 2,0027, καθώς το πρώτο στάδιο πραγματοποιεί 5



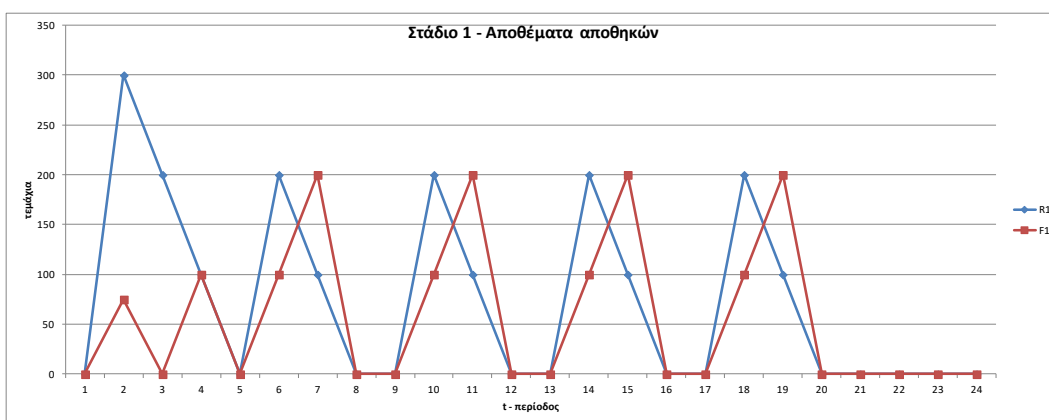
παραγγελίες στην προμηθεύτρια εταιρία του στο σύνολο των 24 περιόδων με σκοπό να περιορίσει τα έξοδα που προκύπτουν από το άθροισμα των πάγιων εξόδων παραγγελίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας αυξάνεται κατά τη φορά της ζήτησης (0 για την τελική ζήτηση  $D_{3,t}$ , 1,6644 για την ενδιάμεση ζήτηση  $D_{2,t}$ , και 2,0027 για την αρχική ζήτηση  $D_{1,t}$ ) στοιχείο που καταδεικνύει το φαινόμενο του μαστιγίου. Επιπλέον, παρατηρούμε και στο στάδιο αυτό ότι η ζήτηση της πρώτης περιόδου καλύπτεται από τον υπερβολάβο  $S_1$  καθώς δεν δύναται να καλυφθεί διαφορετικά.

Στο Σχήμα 4-4 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου.



**Σχήμα 4-4: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το παράδειγμα αναφοράς.**

Στο Σχήμα 4-5 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου. Στα δύο αυτά σχήματα (Σχήμα 4-4 και Σχήμα 4-5) εντοπίζεται περιοδικότητα τεσσάρων περιόδων, όπως παρατηρήθηκε στα αντίστοιχα σχήματα του δεύτερου σταδίου.



**Σχήμα 4-5: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

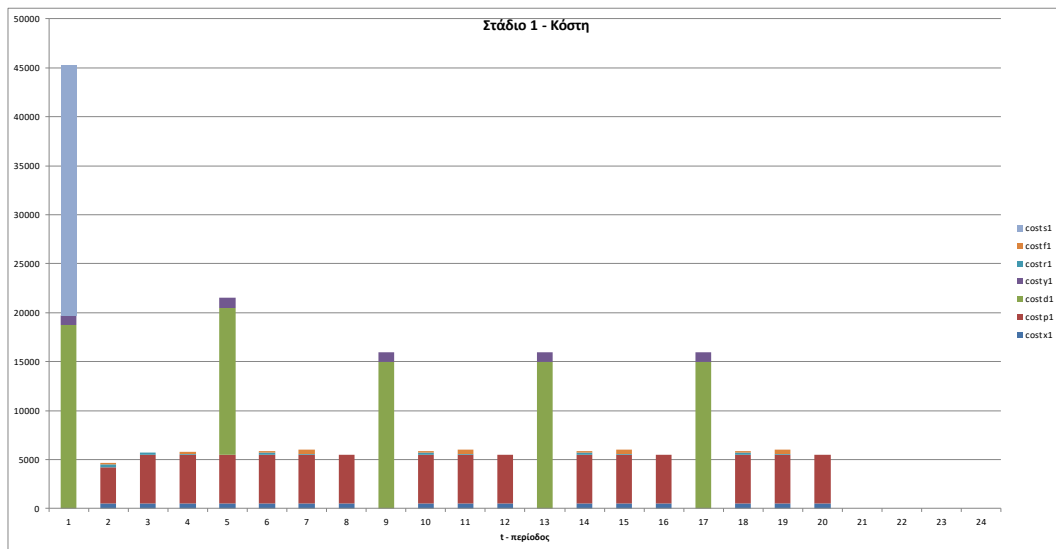
Ο Πίνακας 4.5 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του πρώτου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως το γινόμενο των μεταβλητών απόφασης επί τους μοναδιαίους συντελεστές κόστους. Η τελευταία σειρά δίνει το άθροισμα των τιμών για όλες τις περιόδους.

t	$d_2D_{2t}$	$p_1P_{1t}$	$x_1X_{1t}$	$d_1D_{1t}$	$y_1Y_{1t}$	$r_1R_{1t}$	$f_1F_{1t}$	$s_1S_{1t}$
1	22500	0	0	18750	1000	0	0	25500
2	0	3750	500	0	0	300	150	0
3	26250	5000	500	0	0	200	0	0
4	0	5000	500	0	0	100	200	0
5	30000	5000	500	15000	1000	0	0	0
6	0	5000	500	0	0	200	200	0
7	0	5000	500	0	0	100	400	0
8	45000	5000	500	0	0	0	0	0
9	0	0	0	15000	1000	0	0	0
10	0	5000	500	0	0	200	200	0
11	0	5000	500	0	0	100	400	0
12	45000	5000	500	0	0	0	0	0
13	0	0	0	15000	1000	0	0	0
14	0	5000	500	0	0	200	200	0
15	0	5000	500	0	0	100	400	0
16	45000	5000	500	0	0	0	0	0
17	0	0	0	15000	1000	0	0	0
18	0	5000	500	0	0	200	200	0
19	0	5000	500	0	0	100	400	0
20	45000	5000	500	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>258750</b>	<b>78750</b>	<b>8000</b>	<b>78750</b>	<b>5000</b>	<b>1800</b>	<b>2750</b>	<b>25500</b>

**Πίνακας 4.5: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι τα συνολικά έσοδα του πρώτου σταδίου είναι 258.750€, ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους συνολικών κοστών, είναι 200.550€. Οι μεγαλύτερες συνιστώσες του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από τον αρχικό προμηθευτή,  $\sum d_1D_{1,t} = 78.750\text{€}$ , και το μεταβλητό κόστος παραγωγής  $\sum p_1P_{1,t}$  που έχει την ίδια τιμή. Τα συνολικά κέρδη του πρώτου σταδίου είναι  $258.750 - 200.550 = 58.200\text{€}$ .

Στο Σχήμα 4-6 αποτυπώνονται γραφικά τα κόστη του πρώτου σταδίου ανά περίοδο, ενώ παράλληλα φαίνεται και εδώ η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς πρώτων υλών σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστη.



**Σχήμα 4-6: Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Τέλος, στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί παρατίθενται τα συνολικά έσοδα, κόστη και κέρδη ανά στάδιο και συνολικά για όλη την εφοδιαστική αλυσίδα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική λήψη αποφάσεων, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

	Στάδιο 1	Στάδιο 2	ΣΥΝΟΛΟ
Έσοδα	258.750	450.000	708.750
Κόστος	200.550	402.675	603.225
Κέρδος	58.200	47.325	105.525
% Κέρδους	29,02	11,75	17,49

**Πίνακας 4.6: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και των κοστών του Προβλήματος 3.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα φαίνεται ότι το πρώτο στάδιο έχει μικρότερα έσοδα αλλά και μικρότερα κόστη από το δεύτερο στάδιο, με αποτέλεσμα να εμφανίζει μεγαλύτερα κέρδη. Το ποσοστό κέρδους του επί του κόστους είναι υπερδιπλάσιο (29,02%) του αντίστοιχου ποσοστού του δεύτερου σταδίου (11,75%). Η συνολική κερδοφορία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανέρχεται σε 17,49% επί του συνολικού κόστους.

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική λήψη αποφάσεων (συγκεντρωτική πολιτική) που παρουσιάσαμε σε αυτό το υποκεφάλαιο αντιπροσωπεύουν την καλύτερη δυνατή λύση όσον αφορά το συνολικό κέρδος και των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, αφού στοχεύει στην μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους.

Στη συνέχεια θα δούμε τα αποτελέσματα επίλυσης των άλλων εκδοχών του ίδιου προβλήματος όπου η λήψη αποφάσεων είναι αποκεντρωμένη.

#### 4.1.3. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.2.1, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Ο Πίνακας 4.7 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο πρόβλημα του δεύτερου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας το οποίο επιλύεται πρώτο.

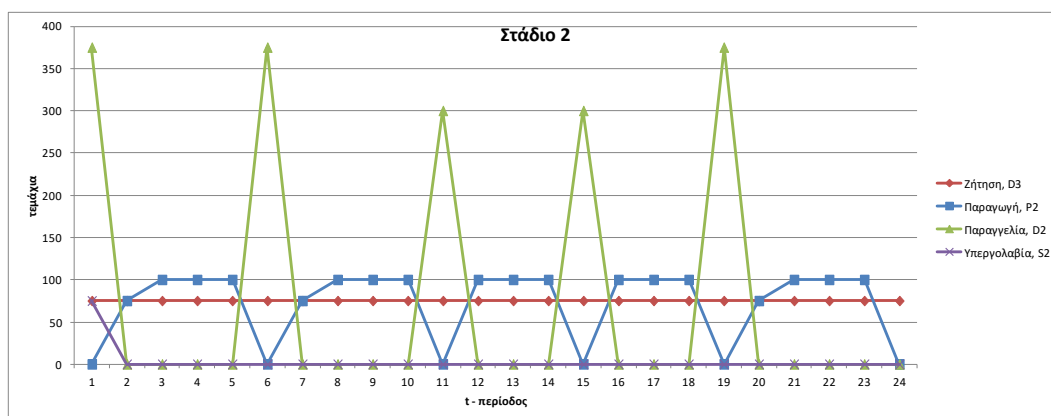
t	D <sub>3t</sub>	P <sub>2t</sub>	X <sub>2t</sub>	D <sub>2t</sub>	Y <sub>2t</sub>	R <sub>2t</sub>	F <sub>2t</sub>	S <sub>2t</sub>
1	75	0	0	375	1	0	0	75
2	75	75	1	0	0	300	0	0
3	75	100	1	0	0	200	25	0
4	75	100	1	0	0	100	50	0
5	75	100	1	0	0	0	75	0
6	75	0	0	375	1	0	0	0
7	75	75	1	0	0	300	0	0
8	75	100	1	0	0	200	25	0
9	75	100	1	0	0	100	50	0
10	75	100	1	0	0	0	75	0
11	75	0	0	300	1	0	0	0
12	75	100	1	0	0	200	25	0
13	75	100	1	0	0	100	50	0
14	75	100	1	0	0	0	75	0
15	75	0	0	300	1	0	0	0
16	75	100	1	0	0	200	25	0
17	75	100	1	0	0	100	50	0
18	75	100	1	0	0	0	75	0
19	75	0	0	375	1	0	0	0
20	75	75	1	0	0	300	0	0
21	75	100	1	0	0	200	25	0
22	75	100	1	0	0	100	50	0
23	75	100	1	0	0	0	75	0
24	75	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1800</b>	<b>1725</b>	<b>18</b>	<b>1725</b>	<b>5</b>	<b>2400</b>	<b>750</b>	<b>75</b>
<b>CV</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,6008</b>	<b>0,5898</b>	<b>2,0055</b>	<b>1,9913</b>	<b>1,1034</b>	<b>0,9510</b>	<b>4,8990</b>

**Πίνακας 4.7: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας για τη ενδιάμεσης ζήτησης  $D_{2,t}$  είναι 2,0055, καθώς το δεύτερο στάδιο παραγγέλνει μεγάλες ποσότητες σε 5 από τις 24 περιόδους. Η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη από τον αντίστοιχη τιμή 1,6644 του προβλήματος με κεντρική λήψη αποφάσεων που φαίνεται στον Πίνακα 4.2, όπου το στάδιο 2 παραγγέλνει σε 7 από τις 24 περιόδους. Κατά συνέπεια, το φαινόμενο του μαστιγίου γίνεται εντονότερο με την έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

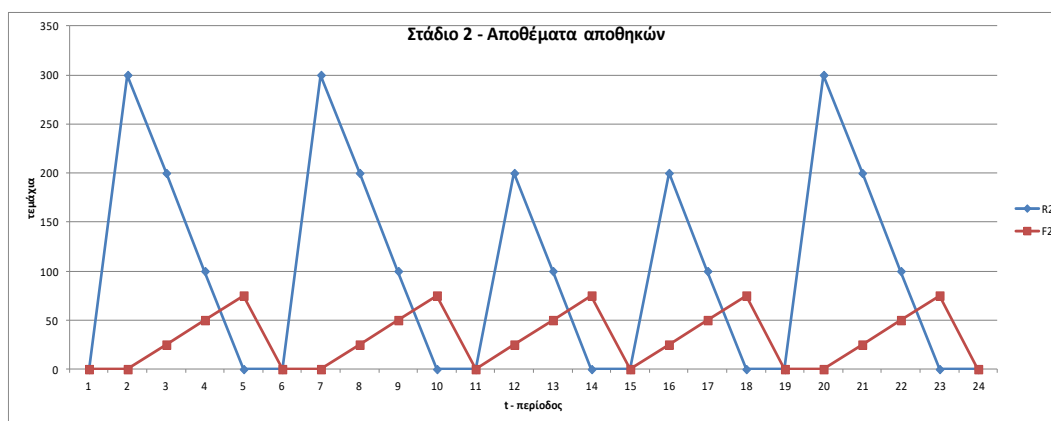
Και στο πρόβλημα αυτό, ο υπεργολάβος του δεύτερου σταδίου  $S_2$  καλείται να καλύψει τη ζήτηση μόνον της πρώτης περιόδου (η οποία δεν μπορεί να καλυφθεί διαφορετικά) λόγω του μεγάλου κόστους του.

Στο Σχήμα 4-7 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπεργολάβου του δεύτερου σταδίου για το παράδειγμα αναφοράς.



**Σχήμα 4-7: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπεργολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Στο Σχήμα 4-8 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου. Στο σχήμα αυτό διαφαίνεται και πάλι μια περιοδικότητα εξαιτίας του γεγονότος ότι όλες οι παράμετροι του προβλήματος είναι σταθερές.



**Σχήμα 4-8: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

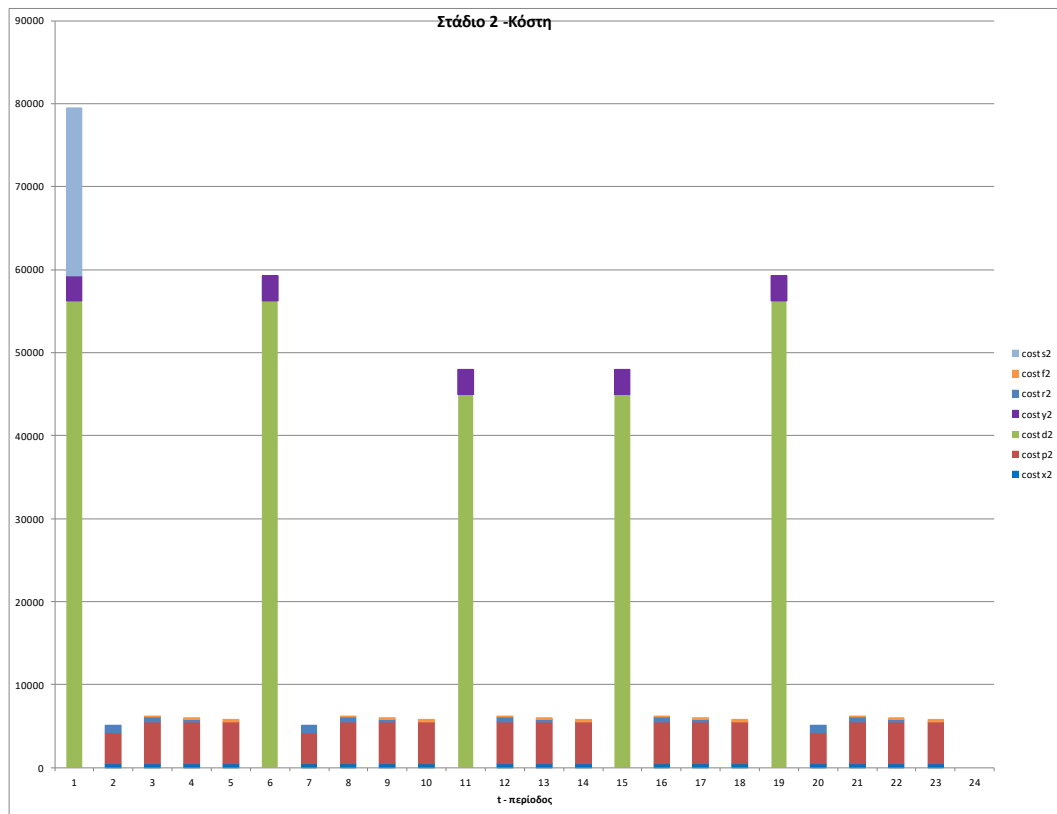
Στον Πίνακα 4.8 που ακολουθεί παρατίθενται οι βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του δεύτερου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

t	$d_3D_{3t}$	$p_2P_{2t}$	$x_2X_{2t}$	$d_2D_{2t}$	$y_2Y_{2t}$	$r_2R_{2t}$	$f_2F_{2t}$	$s_2S_{2t}$
1	18750	0	0	56250	3000	0	0	20250
2	18750	3750	500	0	0	900	0	0
3	18750	5000	500	0	0	600	100	0
4	18750	5000	500	0	0	300	200	0
5	18750	5000	500	0	0	0	300	0
6	18750	0	0	56250	3000	0	0	0
7	18750	3750	500	0	0	900	0	0
8	18750	5000	500	0	0	600	100	0
9	18750	5000	500	0	0	300	200	0
10	18750	5000	500	0	0	0	300	0
11	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
12	18750	5000	500	0	0	600	100	0
13	18750	5000	500	0	0	300	200	0
14	18750	5000	500	0	0	0	300	0
15	18750	0	0	45000	3000	0	0	0
16	18750	5000	500	0	0	600	100	0
17	18750	5000	500	0	0	300	200	0
18	18750	5000	500	0	0	0	300	0
19	18750	0	0	56250	3000	0	0	0
20	18750	3750	500	0	0	900	0	0
21	18750	5000	500	0	0	600	100	0
22	18750	5000	500	0	0	300	200	0
23	18750	5000	500	0	0	0	300	0
24	18750	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>450000</b>	<b>86250</b>	<b>9000</b>	<b>258750</b>	<b>15000</b>	<b>7200</b>	<b>3000</b>	<b>20250</b>

**Πίνακας 4.8: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται τα συνολικά έσοδα του δεύτερου σταδίου που είναι 450.000€, ενώ το συνολικό κόστος που προκύπτει από την άθροιση των αθροιστικών κοστών, είναι 399.450€. Η μεγαλύτερη συνιστώσα του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από το πρώτο στάδιο,  $\sum d_2 D_{2,t}$  = 258.750€. Τα συνολικά κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι 450.000 – 399.450 = 50.550€. Όπως είναι αναμενόμενο, τα κέρδη αυτά είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα κέρδη (47.325€) στο πρόβλημα με την κεντρική λήψη αποφάσεων, αφού το δεύτερο στάδιο ηγείται των αποφάσεων.

Στο Σχήμα 4-9 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη του δεύτερου σταδίου ανά περίοδο, ενώ και εδώ η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς πρώτων υλών είναι εμφανής σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστη.



**Σχήμα 4-9: Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Στον Πίνακα 4.9 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του προβλήματος του πρώτου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το πρόβλημα αυτό λύνεται στη συνέχεια του προβλήματος του δεύτερου σταδίου και λαμβάνει τις ενδιαμέσες ζητήσεις  $D_{2,t}$ ,  $t=1$ , στη δεύτερη στήλη ως εισαγόμενες παραμέτρους, οι τιμές των οποίων προκύπτουν από την επίλυση του προβλήματος του δεύτερου σταδίου.

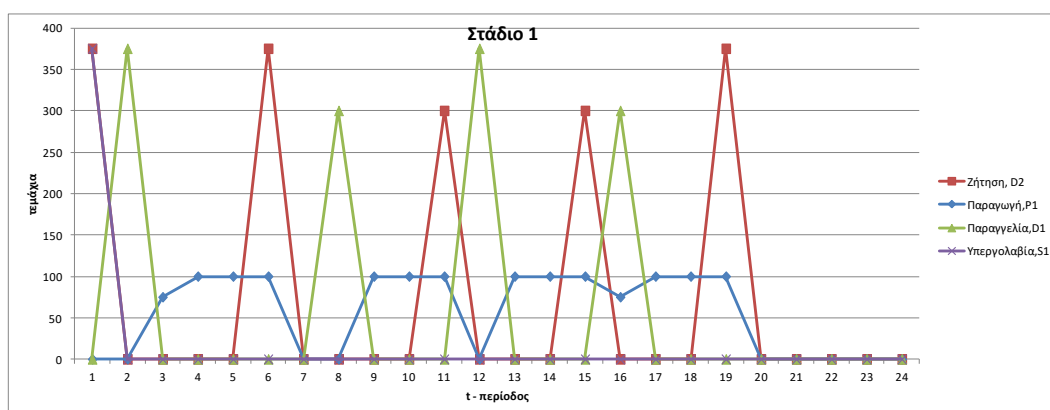
Στον παρακάτω πίνακα, ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών πρώτων υλών  $D_{1,t}$  είναι 2,3010. Όπως στο δεύτερο στάδιο, έτσι και στο πρώτο στάδιο, η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή (2,0027) του προβλήματος με κεντρική λήψη αποφάσεων που φαίνεται στον Πίνακα 4.4. Έτσι, και σε αυτόν τον τρόπο λήψης αποφάσεων παρουσιάζεται το φαινόμενο του μαστιγίου, το οποίο γίνεται πιο έντονο όταν υπάρχει έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

t	D <sub>2t</sub>	P <sub>1t</sub>	X <sub>1t</sub>	D <sub>1t</sub>	Y <sub>1t</sub>	R <sub>1t</sub>	F <sub>1t</sub>	S <sub>1t</sub>
1	375	0	0	0	0	0	0	375
2	0	0	0	375	1	0	0	0
3	0	75	1	0	0	300	75	0
4	0	100	1	0	0	200	175	0
5	0	100	1	0	0	100	275	0
6	375	100	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	300	1	0	0	0
9	0	100	1	0	0	200	100	0
10	0	100	1	0	0	100	200	0
11	300	100	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	375	1	0	0	0
13	0	100	1	0	0	275	100	0
14	0	100	1	0	0	175	200	0
15	300	100	1	0	0	75	0	0
16	0	75	1	300	1	0	75	0
17	0	100	1	0	0	200	175	0
18	0	100	1	0	0	100	275	0
19	375	100	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1725	1350	14	1350	4	1725	1650	375
CV	2,0055	0,8718	0,8633	2,3010	2,2842	1,3849	1,3909	4,8990

Πίνακας 4.9: : Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Όπως, στο δεύτερο στάδιο, έτσι και στο πρώτο, η ζήτηση της πρώτης περιόδου καλύπτεται από τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου  $S_1$ , καθώς δε μπορεί να καλυφθεί διαφορετικά.

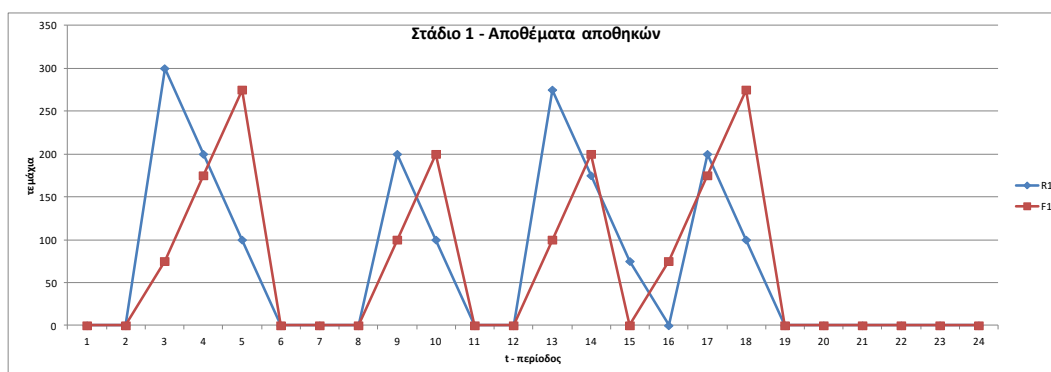
Στο Σχήμα 4-10 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου.



Σχήμα 4-10: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.



Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4-11 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου.



Σχήμα 4-11: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

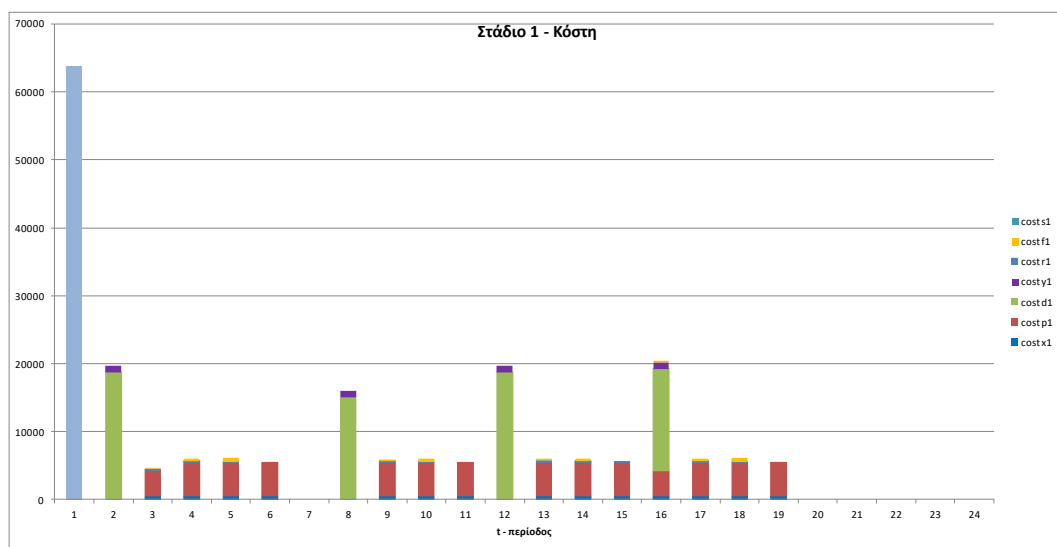
Ο Πίνακας 4.10 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του πρώτου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως το γινόμενο των μεταβλητών απόφασης επί τους μοναδιαίους συντελεστές κόστους. Η τελευταία σειρά δίνει το άθροισμα των τιμές για όλες τις περιόδους.

t	$d_2D_{2t}$	$p_1P_{1t}$	$x_1X_{1t}$	$d_1D_{1t}$	$y_1Y_{1t}$	$r_1R_{1t}$	$f_1F_{1t}$	$s_1S_{1t}$
1	56250	0	0	0	0	0	0	63750
2	0	0	0	18750	1000	0	0	0
3	0	3750	500	0	0	300	150	0
4	0	5000	500	0	0	200	350	0
5	0	5000	500	0	0	100	550	0
6	56250	5000	500	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	15000	1000	0	0	0
9	0	5000	500	0	0	200	200	0
10	0	5000	500	0	0	100	400	0
11	45000	5000	500	0	0	0	0	0
12	0	0	0	18750	1000	0	0	0
13	0	5000	500	0	0	275	200	0
14	0	5000	500	0	0	175	400	0
15	45000	5000	500	0	0	75	0	0
16	0	3750	500	15000	1000	0	150	0
17	0	5000	500	0	0	200	350	0
18	0	5000	500	0	0	100	550	0
19	56250	5000	500	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	258750	67500	7000	67500	4000	1725	3300	63750

Πίνακας 4.10: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τα συνολικά έσοδα του πρώτου σταδίου, όπως προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα είναι 258.750€, ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους αθροιστικών κοστών, είναι 214.775€. Οι μεγαλύτερες συνιστώσες του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από τον αρχικό προμηθευτή,  $\sum d_1 D_{1,t} = 67.500\text{€}$ , και το μεταβλητό κόστος παραγωγής  $\sum p_1 P_{1,t}$  που έχει την ίδια τιμή. Τα συνολικά κέρδη του πρώτου σταδίου είναι  $258.750 - 214.775 = 43.975\text{€}$ .

Στο Σχήμα 4-12 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη που εγείρονται ανά περίοδο, για το πρώτο στάδιο. Κι εδώ, η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς είναι εμφανής.



**Σχήμα 4-12:** Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.21 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τέλος, στον Πίνακα 4.11 που ακολουθεί δίνονται τα συνολικά έσοδα, κόστη και κέρδη ανά στάδιο και συνολικά για όλη την εφοδιαστική αλυσίδα.

	Στάδιο 1	Στάδιο 2	ΣΥΝΟΛΟ
Έσοδα	258.750	450.000	708.750
Κόστος	214.775	399.450	614.225
Κέρδος	43.975	50.550	94.525
% Κέρδους	20,47	12,65	15.39

**Πίνακας 4.11:** Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.2.1 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τα έσοδα αλλά και τα κόστη του πρώτου σταδίου είναι μικρότερα του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα το πρώτο στάδιο να εμφανίζει μεγαλύτερα κέρδη. Το ποσοστό κέρδους του επί του κόστους είναι κάτι λιγότερο από διπλάσιο (20,47%) του αντίστοιχου ποσοστού του δεύτερου σταδίου (12,65%). Η συνολική κερδοφορία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανέρχεται σε 15.39%.

#### 4.1.4. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς

Στο παρόν υποκεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2, όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.2.2 του Κεφαλαίου 3, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Ο Πίνακας 4.12 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο δεύτερο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Να σημειωθεί ότι οι τιμές της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$ ,  $t=1$ , , στη δεύτερη στήλη είναι παράμετροι και όχι μεταβλητές απόφασης. Η τελευταία στήλη έχει τις τιμές των ποσοτήτων του υπερβολάβου  $S_1$  τις οποίες αποφασίζει και χρεώνεται το δεύτερο στάδιο.

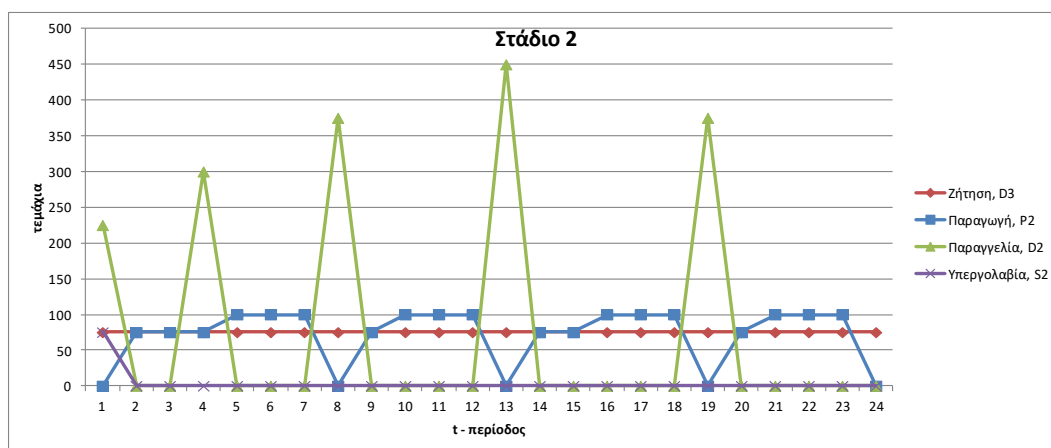
t	$D_{3t}$	$P_{2t}$	$X_{2t}$	$D_{2t}$	$Y_{2t}$	$R_{2t}$	$F_{2t}$	$S_{2t}$	$S_{1t}$
1	75	0	0	225	1	0	0	75	225
2	75	75	1	0	0	150	0	0	0
3	75	75	1	0	0	75	0	0	0
4	75	75	1	300	1	0	0	0	0
5	75	100	1	0	0	200	25	0	0
6	75	100	1	0	0	100	50	0	0
7	75	100	1	0	0	0	75	0	0
8	75	0	0	375	1	0	0	0	0
9	75	75	1	0	0	300	0	0	0
10	75	100	1	0	0	200	25	0	0
11	75	100	1	0	0	100	50	0	0
12	75	100	1	0	0	0	75	0	0
13	75	0	0	450	1	0	0	0	0
14	75	75	1	0	0	375	0	0	0
15	75	75	1	0	0	300	0	0	0
16	75	100	1	0	0	200	25	0	0
17	75	100	1	0	0	100	50	0	0
18	75	100	1	0	0	0	75	0	0
19	75	0	0	375	1	0	0	0	0
20	75	75	1	0	0	300	0	0	0
21	75	100	1	0	0	200	25	0	0
22	75	100	1	0	0	100	50	0	0
23	75	100	1	0	0	0	75	0	0
24	75	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1800	1725	19	1725	5	2700	600	75	225
CV	0,0000	0,5458	0,5240	2,0522	1,9913	1,0728	1,1795	4,8990	4,8990

Πίνακας 4.12: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Ο συντελεστής μεταβλητότητας της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$ , όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, είναι μηδέν, καθώς η ζήτηση είναι ίδια σε όλες τις περιόδους. Αντίθετα, η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας της ενδιάμεσης ζήτησης  $D_{2,t}$  είναι 2,052, καθώς το δεύτερο στάδιο παραγγέλλει μεγαλύτερες ποσότητες από το πρώτο

στάδιο σε 5 μόνον από τις 24 περιόδους με σκοπό να εξοικονομήσει από το σταθερό κόστος παραγγελίας. Τέλος, οι ζητήσεις μόνο της πρώτης περιόδου του πρώτου και του δεύτερου σταδίου καλύπτονται από τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου  $S_1$  και τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου  $S_2$  αντίστοιχα λόγω του μεγάλου κόστους τους, καθώς δε μπορούν να καλυφθούν διαφορετικά.

Στο Σχήμα 4-13 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-13: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-14 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-14: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

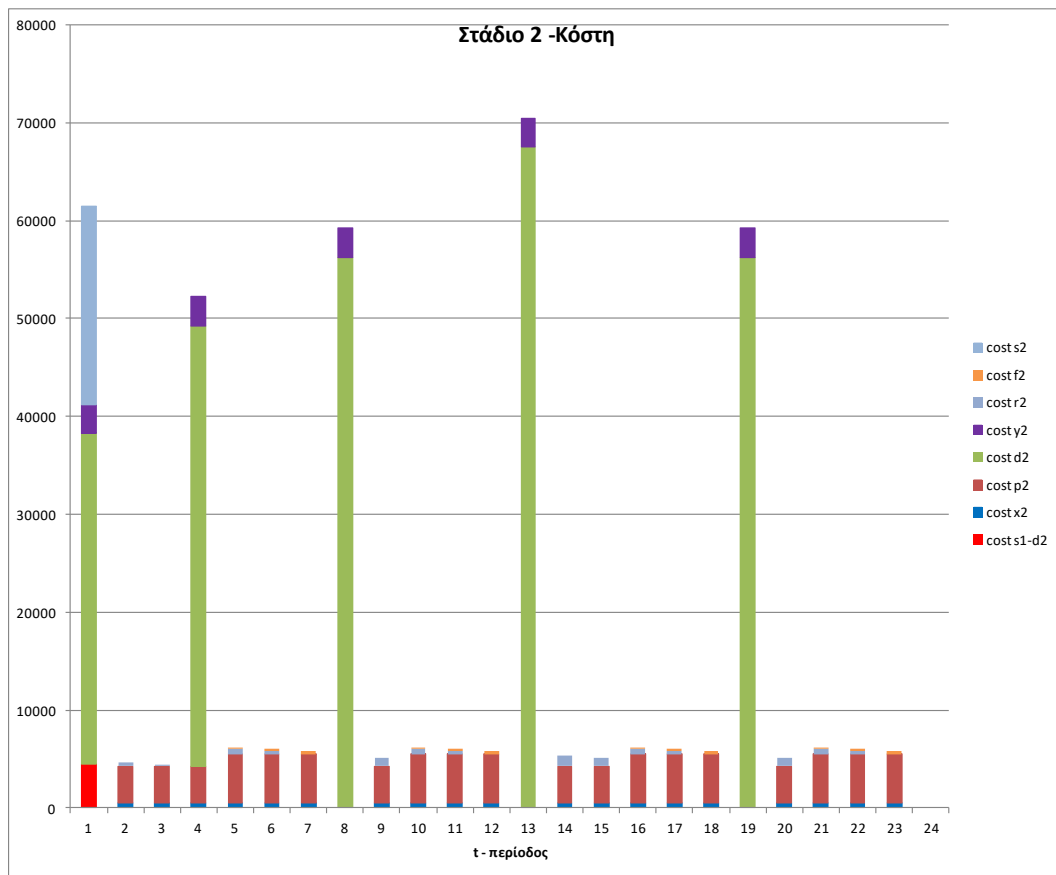
Ο Πίνακας 4.13 που ακολουθεί δίνει τις βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του δεύτερου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

t	$d_3D_{3t}$	$p_2P_{2t}$	$x_2X_{2t}$	$d_2D_{2t}$	$y_2Y_{2t}$	$r_2R_{2t}$	$f_2F_{2t}$	$s_2S_{2t}$	$s_1S_{1t}$
1	18750	0	0	33750	3000	0	0	20250	4500
2	18750	3750	500	0	0	450	0	0	0
3	18750	3750	500	0	0	225	0	0	0
4	18750	3750	500	45000	3000	0	0	0	0
5	18750	5000	500	0	0	600	100	0	0
6	18750	5000	500	0	0	300	200	0	0
7	18750	5000	500	0	0	0	300	0	0
8	18750	0	0	56250	3000	0	0	0	0
9	18750	3750	500	0	0	900	0	0	0
10	18750	5000	500	0	0	600	100	0	0
11	18750	5000	500	0	0	300	200	0	0
12	18750	5000	500	0	0	0	300	0	0
13	18750	0	0	67500	3000	0	0	0	0
14	18750	3750	500	0	0	1125	0	0	0
15	18750	3750	500	0	0	900	0	0	0
16	18750	5000	500	0	0	600	100	0	0
17	18750	5000	500	0	0	300	200	0	0
18	18750	5000	500	0	0	0	300	0	0
19	18750	0	0	56250	3000	0	0	0	0
20	18750	3750	500	0	0	900	0	0	0
21	18750	5000	500	0	0	600	100	0	0
22	18750	5000	500	0	0	300	200	0	0
23	18750	5000	500	0	0	0	300	0	0
24	18750	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>450000</b>	<b>86250</b>	<b>9500</b>	<b>258750</b>	<b>15000</b>	<b>8100</b>	<b>2400</b>	<b>20250</b>	<b>4500</b>

Πίνακας 4.13: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τα συνολικά έσοδα του δεύτερου σταδίου, έτσι όπως προκύπτουν από το παραπάνω πίνακα, είναι 450.000€, ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους αθροιστικών κοστών, είναι 404.750€. Η μεγαλύτερη συνιστώσα του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από το πρώτο στάδιο,  $\sum d_2D_{2,t} = 258.750\text{€}$ . Τα συνολικά κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι  $450.000 - 404.750 = 45.250\text{€}$ , τα οποία είναι ελαφρώς πιο χαμηλά από τα κέρδη της εκδοχής με την αποκεντρωμένη πληροφόρηση του υποκεφαλαίου 4.1.3. Η διαφορά προκύπτει επειδή το δεύτερο στάδιο αναλαμβάνει το κόστος του υπερβολάβου  $S_1$  που ανέρχεται σε 4.500€.

Στο Σχήμα 4-15 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη για το δεύτερο στάδιο ανά περίοδο, ενώ και εδώ η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς πρώτων υλών είναι εμφανής σε σχέση με τα υπόλοιπα κόστη.



Σχήμα 4-15: Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

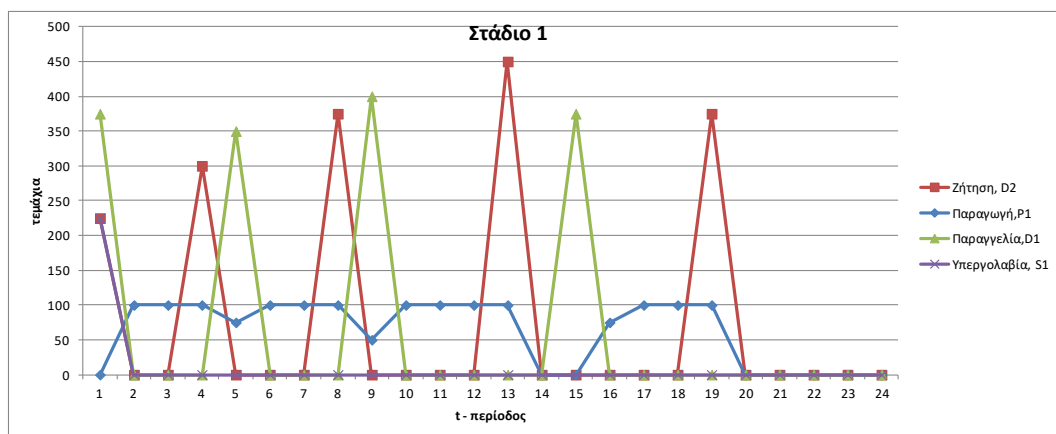
Στον Πίνακα 4.14 δίνονται οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο πρώτο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Να σημειωθεί ότι οι τιμές της ενδιάμεσης ζήτησης  $D_{2,t}$ ,  $t=1$ , , στη δεύτερη στήλη είναι οι ίδιες με αυτές της πέμπτης στήλης του Πίνακα 4.12.

Από τον πίνακα αυτόν, φαίνεται ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών πρώτων υλών  $D_{1,t}$  είναι 2,2872, καθώς το πρώτο στάδιο παραγγέλνει από τον αρχικό προμηθευτή μόνο σε 4 από 24 περιόδους, για να εξοικονομήσει από το σταθερό κόστος παραγγελίας. Και σε αυτή την εκδοχή παρατηρείται αύξηση του συντελεστή μεταβλητότητας κατά τη φορά της ζήτησης (0 για την τελική ζήτηση  $D_{3,t}$ , 2,0522 για την ενδιάμεση ζήτηση  $D_{2,t}$ , και 2,2872 για την αρχική ζήτηση  $D_{1,t}$ ) που καταδεικνύει το φαινόμενο του μαστιγίου. Και εδώ, η ζήτηση μόνο της πρώτης περιόδου του πρώτου σταδίου (η οποία δε μπορεί να καλυφθεί διαφορετικά) καλύπτεται από τον υπερβολικό του πρώτου σταδίου  $S_1$ , καθώς είναι ακριβός.

t	D <sub>2t</sub>	P <sub>1t</sub>	X <sub>1t</sub>	D <sub>1t</sub>	Y <sub>1t</sub>	R <sub>1t</sub>	F <sub>1t</sub>	D <sub>2t</sub> - S <sub>1t</sub>
1	225	0	0	375	1	0	0	0
2	0	100	1	0	0	275	100	0
3	0	100	1	0	0	175	200	0
4	300	100	1	0	0	75	0	300
5	0	75	1	350	1	0	75	0
6	0	100	1	0	0	250	175	0
7	0	100	1	0	0	150	275	0
8	375	100	1	0	0	50	0	375
9	0	50	1	400	1	0	50	0
10	0	100	1	0	0	300	150	0
11	0	100	1	0	0	200	250	0
12	0	100	1	0	0	100	350	0
13	450	100	1	0	0	0	0	450
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	375	1	0	0	0
16	0	75	1	0	0	300	75	0
17	0	100	1	0	0	200	175	0
18	0	100	1	0	0	100	275	0
19	375	100	1	0	0	0	0	375
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1725	1500	16	1500	4	2175	2150	1500
CV	2,0522	0,7460	0,7223	2,2872	2,2842	1,2224	1,2559	2,3114

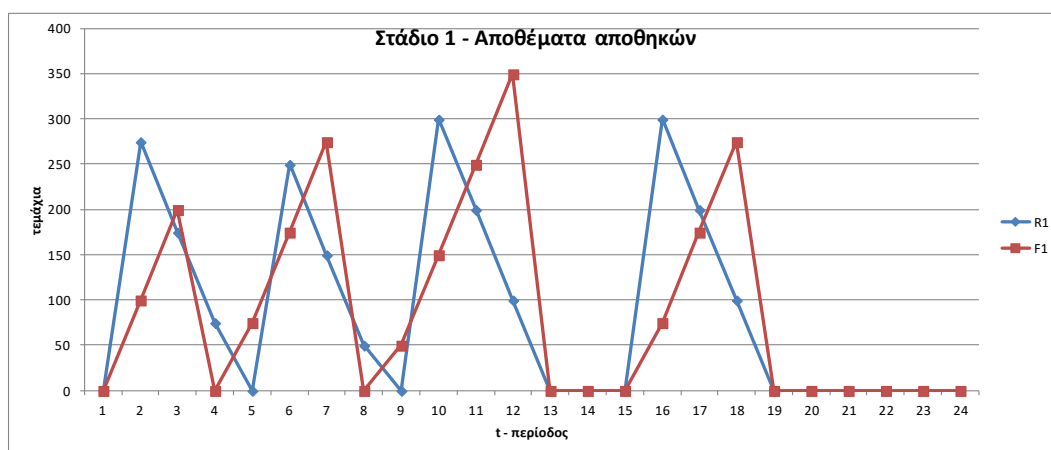
Πίνακας 4.14: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-16 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου.



Σχήμα 4-16: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-17 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου.



**Σχήμα 4-17:** Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Από τα δύο αυτά σχήματα διακρίνεται και πάλι η περιοδικότητα των τεσσάρων περιόδων που παρατηρήθηκε στα προηγούμενα σχήματα.

Στον Πίνακα 4.15 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του πρώτου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως το γινόμενο των μεταβλητών απόφασης επί τους μοναδιαίους συντελεστές κόστους. Η τελευταία σειρά δίνει το άθροισμα των τιμές για όλες τις περιόδους.

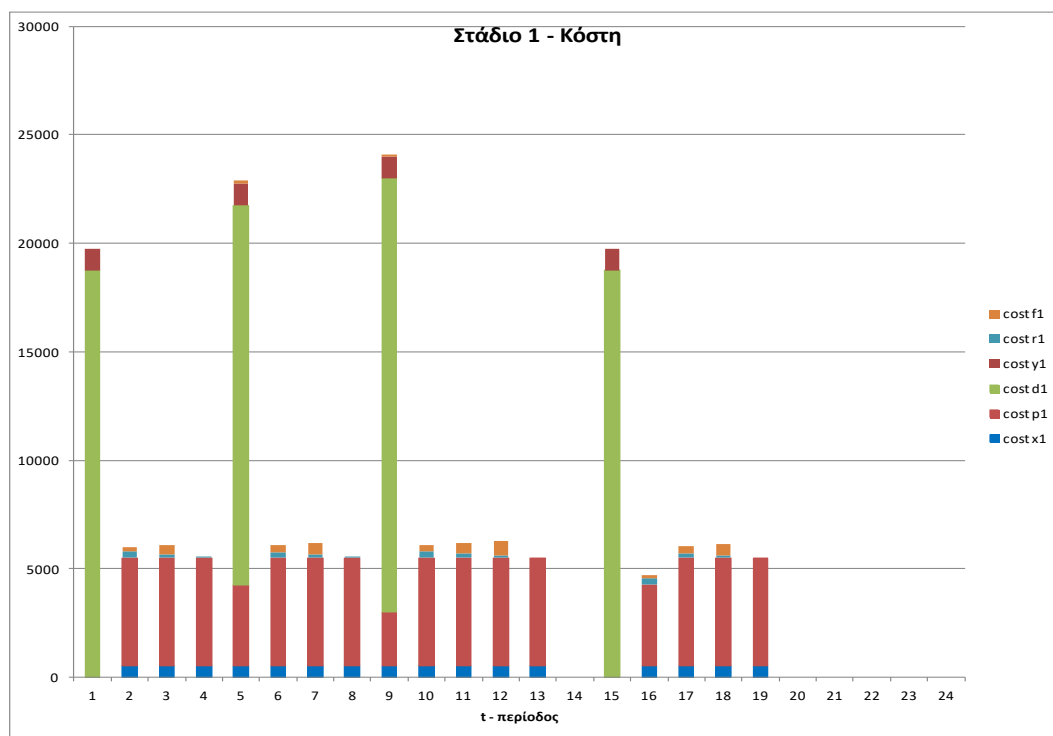
Σε αυτόν τον πίνακα φαίνονται τα συνολικά έσοδα του πρώτου σταδίου είναι 225.000€ ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους αθροιστικών κοστών, είναι 168.475€. Οι μεγαλύτερες συνιστώσες του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από τον αρχικό προμηθευτή,  $\sum d_1 D_{1,t} = 75.000\text{€}$ , και το μεταβλητό κόστος παραγωγής  $\sum p_1 P_{1,t}$  που έχει την ίδια τιμή.

Τα συνολικά κέρδη του πρώτου σταδίου είναι  $225.000 - 168.475 = 56.525\text{€}$ . Τα κέρδη του πρώτου σταδίου του προβλήματος αυτού είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του προβλήματος 3.2.1 (43.975 €), καθώς τα κόστη του πρώτου σταδίου είναι περισσότερο μειωμένα από τα έσοδα.



t	$d_2D_{2t}$	$p_1P_{1t}$	$x_1X_{1t}$	$d_1D_{1t}$	$y_1Y_{1t}$	$r_1R_{1t}$	$f_1F_{1t}$
1	0	0	0	18750	1000	0	0
2	0	5000	500	0	0	275	200
3	0	5000	500	0	0	175	400
4	45000	5000	500	0	0	75	0
5	0	3750	500	17500	1000	0	150
6	0	5000	500	0	0	250	350
7	0	5000	500	0	0	150	550
8	56250	5000	500	0	0	50	0
9	0	2500	500	20000	1000	0	100
10	0	5000	500	0	0	300	300
11	0	5000	500	0	0	200	500
12	0	5000	500	0	0	100	700
13	67500	5000	500	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	18750	1000	0	0
16	0	3750	500	0	0	300	150
17	0	5000	500	0	0	200	350
18	0	5000	500	0	0	100	550
19	56250	5000	500	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
Total	225000	75000	8000	75000	4000	2175	4300

Πίνακας 4.15: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.



Σχήμα 4-18: Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 4-18) αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη που εγείρονται ανά περίοδο, για το πρώτο στάδιο. Κι εδώ, η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς είναι εμφανής.

Στον Πίνακα 4.16 που ακολουθεί δίνονται τα συνολικά έσοδα, κόστη και κέρδη ανά στάδιο και συνολικά για όλη την εφοδιαστική αλυσίδα.

	Στάδιο 1	Στάδιο 2	ΣΥΝΟΛΟ
Έσοδα	225.000	450.000	675.000
Κόστος	168.475	404.750	573.225
Κέρδος	56.525	45.250	101.775
% Κέρδους	33,55	11,18	17,75

**Πίνακας 4.16: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.2.2 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Τα έσοδα του πρώτου σταδίου είναι μικρότερα αλλά και τα κόστη του είναι πολύ μικρότερα από το δεύτερο στάδιο, με αποτέλεσμα τα κέρδη του πρώτου σταδίου να είναι μεγαλύτερα. Το ποσοστό κέρδους του επί του κόστους είναι τριπλάσιο (33,55%) του αντίστοιχου ποσοστού του δεύτερου σταδίου (11,18%). Η συνολική κερδοφορία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανέρχεται σε 17,75%.

#### **4.1.5. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς**

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων όπου ηγείται το στάδιο 1, όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.3 του Κεφαλαίου 3, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

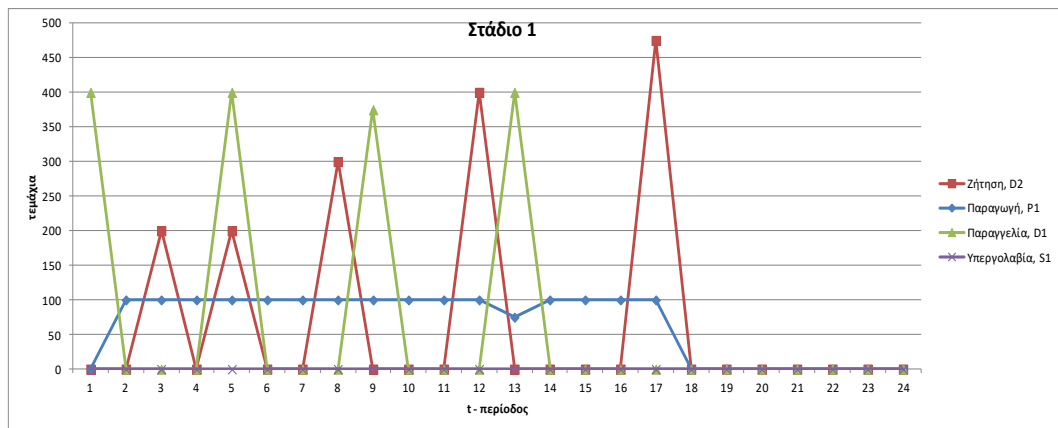
Στην εκδοχή αυτή επιλύουμε πρώτα το πρόβλημα του πρώτου σταδίου. Στον Πίνακα 4.17 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο πρώτο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενδιάμεσες ζητήσεις  $D_{2,t}$ ,  $t=1$ , , στη δεύτερη στήλη είναι μεταβλητές απόφασης που αποφασίζει το πρώτο στάδιο, αναλαμβάνοντας όμως το πάγιο κόστος παραγγελίας που συναρτάται των τιμών  $Y_{2,t}$ ,  $t=1$ , , στην τρίτη στήλη. Κατά συνέπεια, το πρώτο στάδιο φροντίζει, έτσι ώστε οι ζητήσεις που δέχεται από το δεύτερο στάδιο να είναι τέτοιες που να μη χρειάζεται να απευθυνθεί στον ακριβό υπερβολάβο  $S_1$  για την κάλυψή τους.

t	D <sub>2t</sub>	Y <sub>2t</sub>	P <sub>1t</sub>	X <sub>1t</sub>	D <sub>1t</sub>	Y <sub>1t</sub>	R <sub>1t</sub>	F <sub>1t</sub>	S <sub>1t</sub>
1	0	0	0	0	400	1	0	0	0
2	0	0	100	1	0	0	300	100	0
3	200	1	100	1	0	0	200	0	0
4	0	0	100	1	0	0	100	100	0
5	200	1	100	1	400	1	0	0	0
6	0	0	100	1	0	0	300	100	0
7	0	0	100	1	0	0	200	200	0
8	300	1	100	1	0	0	100	0	0
9	0	0	100	1	375	1	0	100	0
10	0	0	100	1	0	0	275	200	0
11	0	0	100	1	0	0	175	300	0
12	400	1	100	1	0	0	75	0	0
13	0	0	75	1	400	1	0	75	0
14	0	0	100	1	0	0	300	175	0
15	0	0	100	1	0	0	200	275	0
16	0	0	100	1	0	0	100	375	0
17	475	1	100	1	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1575</b>	<b>5</b>	<b>1575</b>	<b>16</b>	<b>1575</b>	<b>4</b>	<b>2325</b>	<b>2000</b>	<b>0</b>
<b>CV</b>	<b>2,1368</b>	<b>1,9913</b>	<b>0,7264</b>	<b>0,7223</b>	<b>2,2852</b>	<b>2,2842</b>	<b>1,1919</b>	<b>1,3609</b>	

Πίνακας 4.17: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

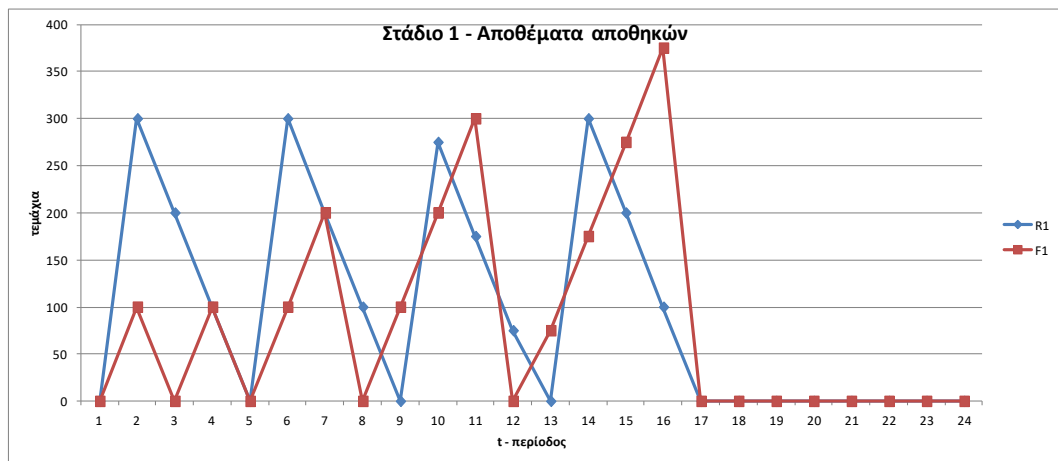
Ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών πρώτων υλών  $D_{1,t}$  στον παραπάνω πίνακα  $D_{1,t}$  είναι 2,2852, καθώς το πρώτο στάδιο παραγγέλλει από τον αρχικό προμηθευτή μόνο σε 4 από 24 περιόδους, για να εξοικονομήσει από το σταθερό κόστος παραγγελίας. Κι εδώ, παρατηρείται αύξηση του συντελεστή μεταβλητότητας κατά τη φορά της ζήτησης (0 για την τελική ζήτηση  $D_{3,t}$ , 2,1368 για την ενδιάμεση ζήτηση  $D_{2,t}$ , και 2,2852 για την αρχική ζήτηση  $D_{1,t}$ ) που καταδεικνύει το φαινόμενο του μαστιγίου.

Στο Σχήμα 4-19 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπεργολάβου του πρώτου σταδίου. Οι ζητήσεις  $D_{2,t}$  φαίνεται να είναι περιοδικές αλλά διαρκώς αυξανόμενες μέχρι την περίοδο 18 και στη συνέχεια μηδενίζονται. Οι ζητήσεις  $D_{1,t}$  ακολουθούν κι αυτές ένα περιοδικό μοτίβο μέχρι την περίοδο 14 και στη συνέχεια μηδενίζονται.



**Σχήμα 4-19: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4-20 αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου.



**Σχήμα 4-20: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.**

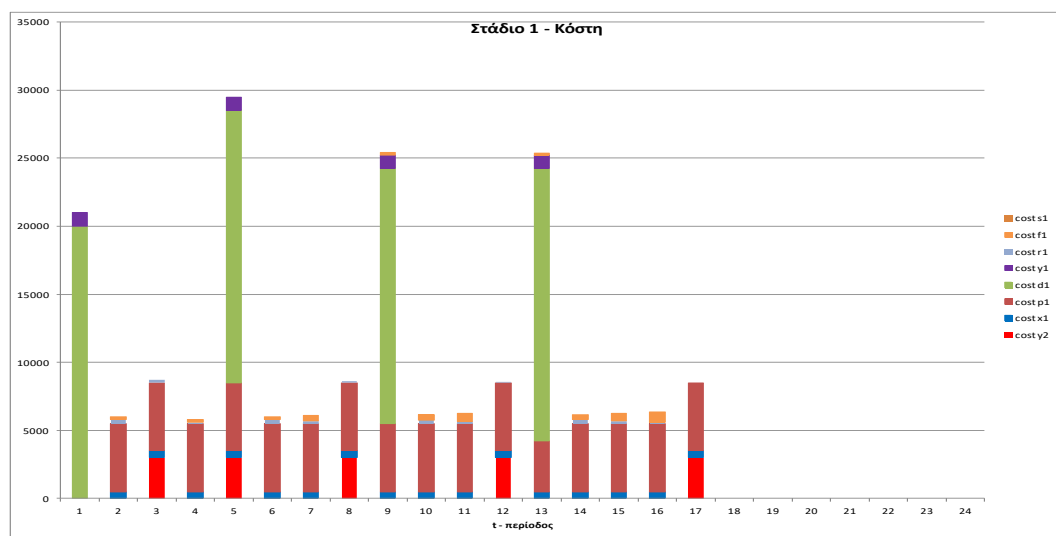
Στον Πίνακα 4.18 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του πρώτου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τιμές αυτές προκύπτουν ως το γινόμενο των μεταβλητών απόφασης επί τους μοναδιαίους συντελεστές κόστους. Η τελευταία σειρά δίνει το άθροισμα των τιμές για όλες τις περιόδους.

Τα συνολικά έσοδα του πρώτου σταδίου, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, είναι 236.250 € ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους αθροιστικών κοστών, είναι 190.825€. Οι μεγαλύτερες συνιστώσες του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από τον αρχικό προμηθευτή,  $\sum d_1 D_{1,t} = 78.750\text{€}$ , και το μεταβλητό κόστος παραγωγής  $\sum p_1 P_{1,t}$  που έχει την ίδια τιμή. Τα συνολικά κέρδη του πρώτου σταδίου είναι  $236.250 - 190.825 = 45.425\text{€}$ . Να σημειωθεί ότι στην εκδοχή αυτή, το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει τα πάγια κόστη παραγγελίας του δεύτερου σταδίου που ανέρχονται σε 15.000 €.

t	$d_2 D_{2t}$	$y_2 Y_{2t}$	$p_1 P_{1t}$	$x_1 X_{1t}$	$d_1 D_{1t}$	$y_1 Y_{1t}$	$r_1 R_{1t}$	$f_1 F_{1t}$	$s_1 S_{1t}$
1	0	0	0	0	20000	1000	0	0	0
2	0	0	5000	500	0	0	300	200	0
3	30000	3000	5000	500	0	0	200	0	0
4	0	0	5000	500	0	0	100	200	0
5	30000	3000	5000	500	20000	1000	0	0	0
6	0	0	5000	500	0	0	300	200	0
7	0	0	5000	500	0	0	200	400	0
8	45000	3000	5000	500	0	0	100	0	0
9	0	0	5000	500	18750	1000	0	200	0
10	0	0	5000	500	0	0	275	400	0
11	0	0	5000	500	0	0	175	600	0
12	60000	3000	5000	500	0	0	75	0	0
13	0	0	3750	500	20000	1000	0	150	0
14	0	0	5000	500	0	0	300	350	0
15	0	0	5000	500	0	0	200	550	0
16	0	0	5000	500	0	0	100	750	0
17	71250	3000	5000	500	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	236250	15000	78750	8000	78750	4000	2325	4000	0

Πίνακας 4.18: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-21 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη του πρώτου σταδίου ανά περίοδο. Κι εδώ, η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς είναι εμφανής.



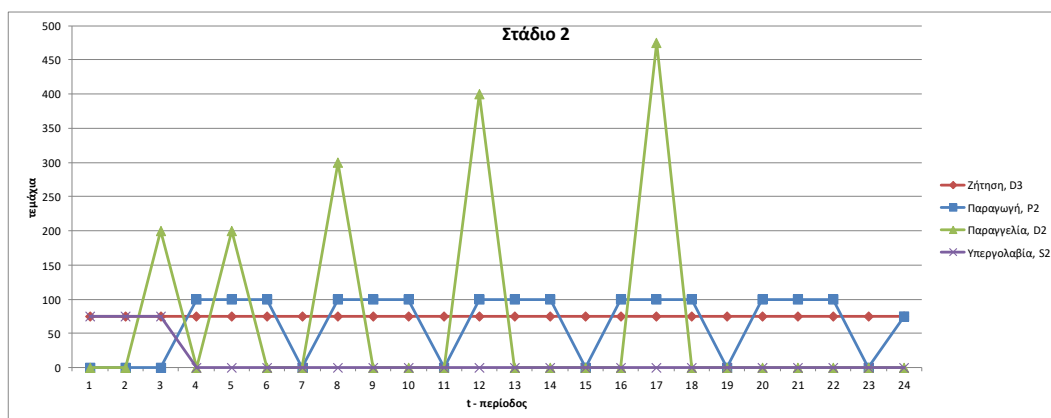
Σχήμα 4-21: Βέλτιστες τιμές των κοστών του πρώτου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στον Πίνακα 4.19 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης που αφορούν στο δεύτερο στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$ ,  $t=1$ , , στη δεύτερη στήλη είναι παράμετροι και όχι μεταβλητές απόφασης. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές  $Y_{2,t}$  και  $D_{2,t}$ ,  $t=1$ , , στην πέμπτη και έκτη στήλη, αντίστοιχα, οι οποίες έχουν αποφασιστεί από το πρώτο στάδιο.

t	$D_{3t}$	$P_{2t}$	$X_{2t}$	$D_{2t}$	$Y_{2t}$	$R_{2t}$	$F_{2t}$	$S_{2t}$
1	75	0	0	0	0	0	0	75
2	75	0	0	0	0	0	0	75
3	75	0	0	200	1	0	0	75
4	75	100	1	0	0	100	25	0
5	75	100	1	200	1	0	50	0
6	75	100	1	0	0	100	75	0
7	75	0	0	0	0	100	0	0
8	75	100	1	300	1	0	25	0
9	75	100	1	0	0	200	50	0
10	75	100	1	0	0	100	75	0
11	75	0	0	0	0	100	0	0
12	75	100	1	400	1	0	25	0
13	75	100	1	0	0	300	50	0
14	75	100	1	0	0	200	75	0
15	75	0	0	0	0	200	0	0
16	75	100	1	0	0	100	25	0
17	75	100	1	475	1	0	50	0
18	75	100	1	0	0	375	75	0
19	75	0	0	0	0	375	0	0
20	75	100	1	0	0	275	25	0
21	75	100	1	0	0	175	50	0
22	75	100	1	0	0	75	75	0
23	75	0	0	0	0	75	0	0
24	75	75	1	0	0	0	0	0
Total	1800	1575	16	1575	5	2850	750	225
CV	0,0000	0,7264	0,7223	2,1368	1,9913	1,0092	0,9510	2,7027

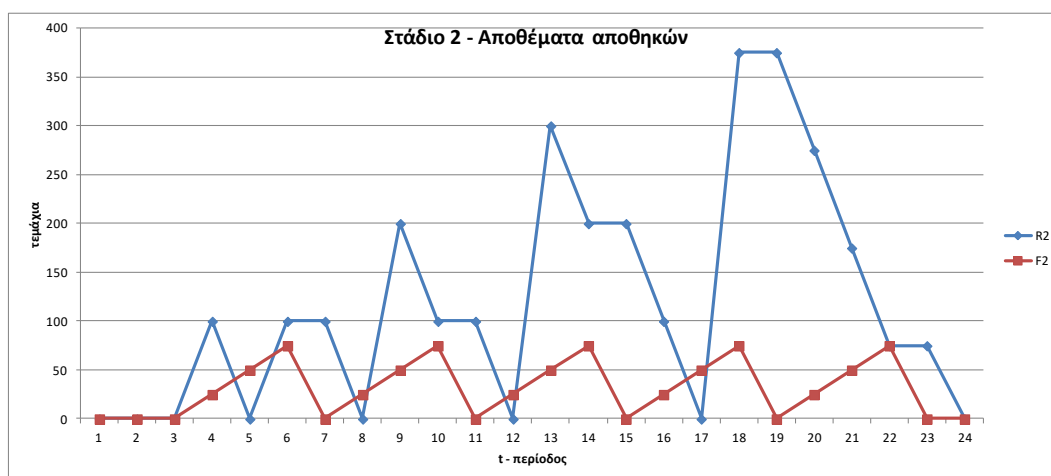
Πίνακας 4.19: Βέλτιστες τιμές των μεταβλητών απόφασης του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-22 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-22: Βέλτιστες ποσότητες ζήτησης, παραγωγής, παραγγελιών και υπερβολάβου του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στο Σχήμα 4-23 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά οι βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-23: Βέλτιστες ποσότητες αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

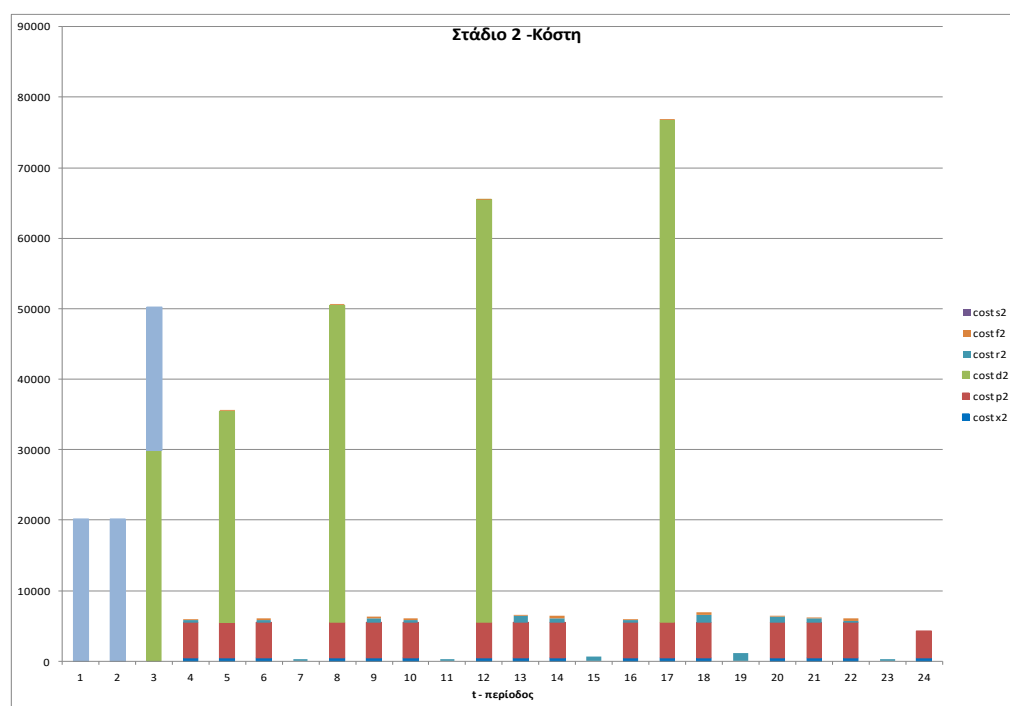
Στον Πίνακα 4.20 που ακολουθεί δίνονται οι βέλτιστες τιμές των εσόδων και κοστών του δεύτερου σταδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

t	$d_3 D_{3t}$	$p_2 P_{2t}$	$x_2 X_{2t}$	$d_2 D_{2t}$	$r_2 R_{2t}$	$f_2 F_{2t}$	$s_2 S_{2t}$
1	18750	0	0	0	0	0	20250
2	18750	0	0	0	0	0	20250
3	18750	0	0	30000	0	0	20250
4	18750	5000	500	0	300	100	0
5	18750	5000	500	30000	0	200	0
6	18750	5000	500	0	300	300	0
7	18750	0	0	0	300	0	0
8	18750	5000	500	45000	0	100	0
9	18750	5000	500	0	600	200	0
10	18750	5000	500	0	300	300	0
11	18750	0	0	0	300	0	0
12	18750	5000	500	60000	0	100	0
13	18750	5000	500	0	900	200	0
14	18750	5000	500	0	600	300	0
15	18750	0	0	0	600	0	0
16	18750	5000	500	0	300	100	0
17	18750	5000	500	71250	0	200	0
18	18750	5000	500	0	1125	300	0
19	18750	0	0	0	1125	0	0
20	18750	5000	500	0	825	100	0
21	18750	5000	500	0	525	200	0
22	18750	5000	500	0	225	300	0
23	18750	0	0	0	225	0	0
24	18750	3750	500	0	0	0	0
Total	450000	78750	8000	236250	8550	3000	60750

Πίνακας 4.20: Βέλτιστες τιμές των εσόδων και των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τα συνολικά έσοδα του δεύτερου σταδίου, όπως φαίνονται στον παραπάνω πίνακα, είναι 450.000€ ενώ το συνολικό κόστος, όπως προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους αθροιστικών κοστών, είναι 395.300€. Η μεγαλύτερη συνιστώσα του συνολικού κόστους είναι το μεταβλητό κόστος αγοράς προϊόντος από το πρώτο στάδιο,  $\Sigma d_2 D_{2,t} = 236.250$ . Τα συνολικά κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι  $450.000 - 395.300 = 54.700$ €.

Στο Σχήμα 4-24 που αποτυπώνονται γραφικά τα διαφορετικά κόστη του δεύτερου σταδίου ανά περίοδο. Η υπεροχή του μεταβλητού κόστους αγοράς πρώτων υλών είναι εμφανής.



Σχήμα 4-24: Βέλτιστες τιμές των κοστών του δεύτερου σταδίου του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στον Πίνακα 4.21 που ακολουθεί δίνονται τα συνολικά έσοδα, κόστη και κέρδη ανά στάδιο και συνολικά για όλη την εφοδιαστική αλυσίδα.

	Στάδιο 1	Στάδιο 2	ΣΥΝΟΛΟ
Έσοδα	236.250	450.000	686.250
Κόστος	190.825	395.300	586.125
Κέρδος	45.425	54700	100.125
% Κέρδους	23,8045	13,8376	17,0825

Πίνακας 4.21: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών του Προβλήματος 3.3 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Τα έσοδα του πρώτου σταδίου είναι μικρότερα, όπως και τα κόστη του σε σχέση με αυτά του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα τα κέρδη του πρώτου σταδίου να είναι υψηλότερα. Το ποσοστό κέρδους του επί του κόστους είναι υπερδιπλάσιο (29,02%)



του αντίστοιχου ποσοστού του δεύτερου σταδίου (11,75%). Η συνολική κερδοφορία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανέρχεται σε 17,49%.

#### 4.1.6. Συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των προτύπων κεντρικής και αποκεντρωμένης διαδοχικής λήψης αποφάσεων

Στο υποκεφάλαιο αυτό πραγματοποιούμε μια αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στα υποκεφάλαια 4.1.2- 4.1.5 που αφορούν την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με κεντρική και αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων. Στον Πίνακα 4.22 δίνονται οι τέσσερις εκδοχές που εξετάστηκαν.

Εκδοχή	Περιγραφή
I	Κεντρική λήψη αποφάσεων
II	Αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων και αποκεντρωμένη χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2
III	Αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων και κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2
IV	Αποκεντρωμένη διαδοχική λήψη αποφάσεων κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 1

Πίνακας 4.22: Ορισμός εκδοχών του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών ανάλογα με τον τρόπο λήψης αποφάσεων και τη χρήση πληροφοριών.

Στον Πίνακα 4.23 συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	258.750	258.750	225.000	236.250
	Κόστος	200.550	214.775	168.475	190.825
	Κέρδος	58.200	43.975	56.525	45.425
	% Κέρδους	29,02	20,47	33,51	23,80
Στάδιο 2	Έσοδα	450.000	450.000	450.000	450.000
	Κόστος	402.675	399.450	404.750	395.300
	Κέρδος	47.325	50.550	45.250	54.700
	% Κέρδους	11,75	12,65	11,18	13,84
Σύνολο	Έσοδα	708.750	708.750	675.000	686.250
	Κόστος	603.225	614.225	573.225	586.125
	Κέρδος	105.525	94.525	101.775	100.125
	% Κέρδους	17,49	15,39	17,75	17,08
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	1,6644	2,0055	2,052	2,1368
	$D_{1,t}$	2,0026	2,3010	2,2872	2,2841

Πίνακας 4.23: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Με βάση τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ❑ Η εκδοχή I του προβλήματος, δηλαδή η εκδοχή της κεντρικής λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το μέγιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως είναι αναμενόμενο. Σε αυτήν την εκδοχή παρουσιάζεται η μικρότερη μεταβλητότητα της ζήτησης ενδιάμεσων προϊόντων και αρχικών προϊόντων.
- ❑ Η εκδοχή II του προβλήματος, δηλαδή η εκδοχή της αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το ελάχιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στην εκδοχή αυτή παρόλο που το δεύτερο στάδιο εμφανίζει αυξημένα κέρδη σε σχέση με την εκδοχή I, το πρώτο στάδιο λόγω της αποκεντρωμένης χρήσης πληροφοριών εμφανίζει τη χαμηλότερη επίδοση έχοντας σε αυτή την εκδοχή τα χαμηλότερα κέρδη. Σε αυτήν την εκδοχή ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών προϊόντων έχει τη μεγαλύτερη τιμή. Στην εκδοχή αυτή, τα κέρδη του πρώτου σταδίου παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές.
- ❑ Στην εκδοχή III το δεύτερο στάδιο εμφανίζει τη χειρότερη επίδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές. Τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι σημαντικά μειωμένα στην εκδοχή III (παρόλο που αποφασίζει πρώτο), καθώς αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Κατά συνέπεια, τα κέρδη του πρώτου σταδίου είναι αυξημένα στην εκδοχή III, καθώς δεν επωμίζεται το κόστος του υπερβολάβου.
- ❑ Παρόλο που στην εκδοχή IV το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων εμφανίζει χαμηλότερα κέρδη σε σχέση με την εκδοχή III, όπου τις αποφάσεις τις παίρνει πρώτο το δεύτερο στάδιο. Αυτό συμβαίνει διότι στην εκδοχή III, το δεύτερο στάδιο αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Επιπροσθέτως, στην εκδοχή IV, το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει την πληρωμή του πάγιου κόστους παραγγελίας μεταξύ των δύο σταδίων.
- ❑ Το κέρδος του δεύτερου σταδίου είναι μέγιστο στην εκδοχή IV, παρόλο που το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων και αποφασίζει αυτό για τις παραγγελίες του δεύτερου σταδίου. Οικονομικά οφέλη προκύπτουν για το δεύτερο στάδιο, καθώς το πρώτο στάδιο επωμίζεται το σταθερό κόστος των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου, έτσι οι όποιες αρνητικές επιπτώσεις από την απώλεια ελέγχου υπερκαλύπτονται από τα οφέλη της μη καταβολής του παγίου κόστους παραγγελίας.

#### 4.1.7. Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς

Στο υποκεφάλαιο αυτό παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.24 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	135	21225	76425	97650	138	21700	71250	92950	3
0.2	147	42263	55725	97988	150	43129	50550	93679	2
0.3	159	63425	35025	98450	159	63425	35025	98450	2
0.4	175	86475	7425	93900	175	86475	7425	93900	3
0.5	187	107683	-13275	94408	187	107683	-13275	94408	3
0.6	196	126900	-28800	98100	196	126900	-28800	98100	2
0.7	0	0	309300	309300	208	147750	-36000	111750	3
0.8	0	0	309300	309300	221	169750	-36000	133750	4
0.9	0	0	309300	309300	233	190575	-36000	154575	3

Πίνακας 4.24: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

- Για τιμές  $\beta = 0,1 - 0,2$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών μετά από 2-3 επαναλήψεις.
- Για τιμές  $\beta = 0,3 - 0,6$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2-3 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για τιμές  $\beta = 0,7 - 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 2-3 επαναλήψεις.

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.24 μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- ❑ Όσο το ποσοστό κέρδους του πρώτου σταδίου  $\beta$  αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει η τιμή  $d_2$  που πωλεί τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο. Όταν η σύγκλιση οδηγήσει δύο τιμές, η τιμή που αντιστοιχεί στο πρώτο στάδιο είναι η μεγαλύτερη από τις δύο του πίνακα.
- ❑ Όσο αυξάνεται το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$ , τόσο αυξάνονται τα κέρδη του πρώτου σταδίου και μειώνονται τα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Το συνολικά κέρδη αρχικά αυξάνονται, στην συνέχεια μειώνονται και στο τέλος αυξάνονται και πάλι.
- ❑ Υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό για το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$  (0,7 στο παράδειγμα αναφοράς) πάνω από το οποίο η τιμή  $d_2$  παλινδρομεί μεταξύ μιας πολύ μεγάλης τιμής και του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει σύγκλιση σε μία τιμή ή έστω σε μια περιοχή ισορροπίας, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πραγματική λύση.

Για να γίνει πιο κατανοητή η περίπτωση της μη σύγκλισης μπορούμε να πάρουμε για παράδειγμα το ποσοστό  $\beta = 0,7$  για να δούμε τι συμβαίνει μεταξύ των δύο σταδίων. Για το ποσοστό αυτό, η ελάχιστη τιμή στην οποία πωλεί τα προϊόντα του το πρώτο στάδιο είναι  $d_2 = 208$  €. Με αυτή την τιμή, αν το δεύτερο στάδιο παραγγείλει τα προϊόντα του από το πρώτο στάδιο παρουσιάζει ζημιές σε αντίθεση με την περίπτωση που προμηθευτεί τα προϊόντα του από τον υπεργολάβο  $S_2$ , όπου εμφανίζει κέρδη. Έτσι, το δεύτερο στάδιο επιλέγει να παραγγείλει από τον υπεργολάβο  $S_2$  και να μην προμηθευτεί τίποτα από το πρώτο στάδιο για να καλύψει τη ζήτηση που δέχεται. Κατά συνέπεια, το πρώτο στάδιο δεν δέχεται κάποια παραγγελία, οπότε δεν παραγγέλλει και δεν παράγει τίποτα. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος του είναι μηδενικό, οπότε αντίστοιχα και το ελάχιστο επιθυμητό κέρδος του είναι μηδέν αφού αυτό ισούται με  $\beta$  επί το κόστος του. Κατά συνέπεια, η ελάχιστη τιμή που χρεώνει τα προϊόντα του είναι  $d_2 = 0$ . Με αυτή την τιμή (δηλαδή δωρεάν!), το δεύτερο στάδιο παραγγέλλει προϊόντα από το πρώτο στάδιο και έχει πολύ μεγάλο κέρδος (309.300€). Το πρώτο στάδιο, δεχόμενο αυτές τις παραγγελίες, παραγγέλλει πρώτες ύλες και παράγει προϊόντα εγείροντας κάποιο κόστος. Έτσι, το πρώτο στάδιο υπολογίζει την ελάχιστη τιμή που πρέπει να χρεώσει για να έχει ποσοστό κέρδους  $\beta = 0,7$ , που είναι  $d_2 = 208$  €, και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

#### 4.2. Αλλαγή παραμέτρων στο αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς του βασικού πρότυπου της εφοδιαστικής αλυσίδας

Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάζουμε την πιθανή επίδραση που μπορεί να επιφέρει στη βέλτιστη λύση του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς του βασικού προτύπου της εφοδιαστικής αλυσίδας η αλλαγή της τιμής των παραμέτρων του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, αλλάζουμε κάθε φορά την τιμή μιας παραμέτρου

και επιλύουμε το βασικό πρότυπο για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών. Στη συνέχεια, παραθέτουμε συνοπτικά και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της επίλυσης των παραδειγμάτων. Αναλυτικό υλικό διαγραμμάτων και πινάκων με τα αποτελέσματα της επίλυσης των διαφορετικών αυτών παραδειγμάτων επισυνάπτεται σε ηλεκτρονική μορφή μαζί με την μεταπτυχιακή εργασία.

#### 4.2.1. Εισαγωγή θετικών χρόνων υστέρησης παραγγελιών και παραγωγής για τα 2 στάδια

Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζουμε την επίδραση που επιφέρει στη βέλτιστη λύση η εισαγωγή θετικών χρόνων υστέρησης παραγωγής και παραγγελιών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στον Πίνακα 4.25 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις τιμές των χρόνων υστέρησης των παραγγελιών και παραγωγής σε σχέση με τις πρότυπες τιμές, ενώ η πρώτη γραμμή του πίνακα, όπου όλοι οι χρόνοι υστέρησης είναι μηδέν, αντιστοιχεί στο αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς.

i	$L^d_1$	$L^d_2$	$L^p_1$	$L^p_2$
1	0	0	0	0
2	1	0	0	0
3	2	0	0	0
4	0	1	0	0
5	0	2	0	0
6	0	0	1	0
7	0	0	2	0
8	0	0	0	1
9	0	0	0	2
10	1	1	0	0
11	0	0	1	1
12	1	0	1	0
13	0	1	0	1
14	1	1	1	1

Πίνακας 4.25: Οι διάφορες περιπτώσεις χρόνων υστέρησης που εξετάστηκαν.

Για κάθε μια από τις παραπάνω αλλαγές επιλύουμε τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3 και συγκρίνουμε τις βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν με τις βέλτιστες λύσεις του παραδείγματος αναφοράς που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 4.1.

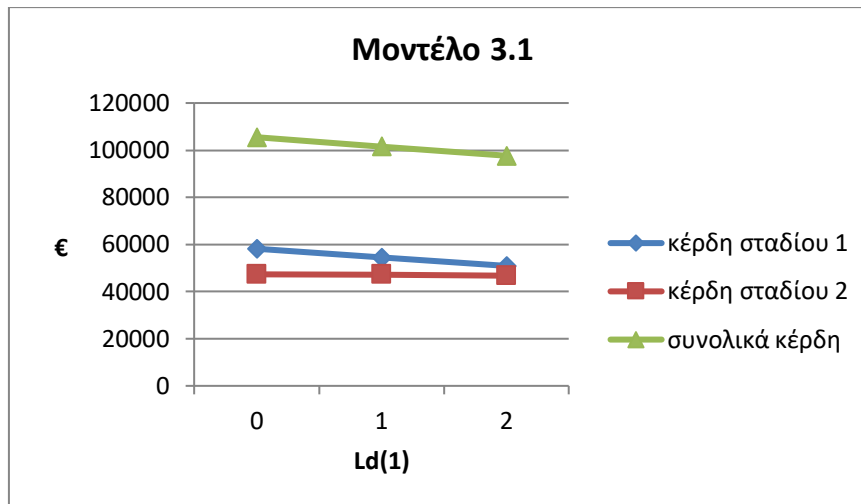
▪ **Επίδραση των θετικών χρόνων υστέρησης για το Πρόβλημα 3.1**

Στον Πίνακα 4.26 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την εισαγωγή των θετικών χρόνων υστέρησης (εκτός της πρώτης γραμμής του πίνακα) για το Πρόβλημα 3.1, στο οποίο υπάρχει κεντρική λήψη αποφάσεων. Επίσης, στον πίνακα καταγράφονται και οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των χρόνων υστέρησης καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου.

i	Κέρδη			CV	
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Συνολικά	D <sub>1,t</sub>	D <sub>2,t</sub>
1	58200	47325	105525	2,0027	1,66437
2	54400	47175	101575	2,350208	1,6324562
3	50900	46750	97650	2,29878	1,692571
4	55900	42875	98775	2,350208	1,6586103
5	51000	41050	92050	2,36658	1,817678
6	54400	47175	101575	2,350208	1,6324562
7	50900	46750	97650	2,29878	1,692571
8	55900	42875	98775	2,350208	1,6586103
9	51000	41050	92050	2,36658	1,817678
10	52400	42500	94900	2,29878	1,736505
11	52400	42500	94900	2,29878	1,736505
12	50900	46750	97650	2,29878	1,692571
13	51000	41050	92050	2,36658	1,817678
14	43600	41050	84650	2,31504	1,817678

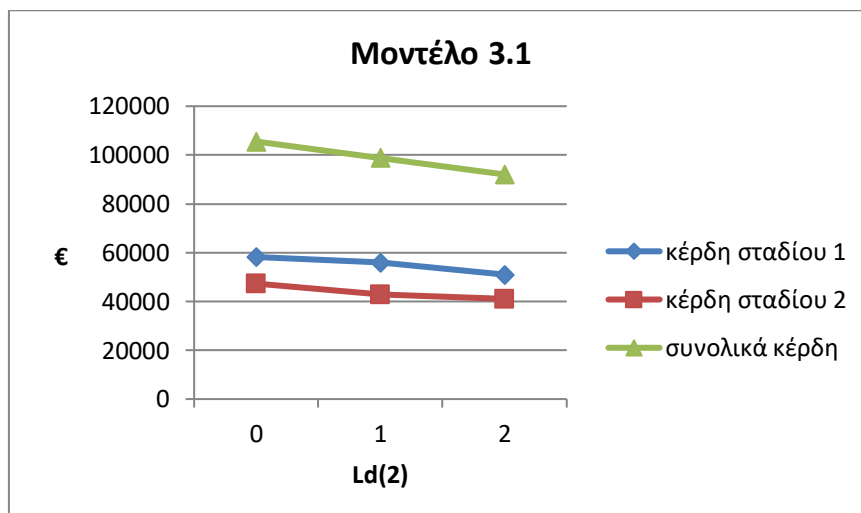
**Πίνακας 4.26:** Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια.

Στο Σχήμα 4-25 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο πρώτο στάδιο ( $L^d_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται μείωση στα κέρδη του πρώτου και του δεύτερου σταδίου αλλά και στα συνολικά κέρδη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μειωμένη παραγωγή του πρώτου σταδίου, καθώς υπάρχει καθυστέρηση στην άφιξη των πρώτων υλών λόγω του χρόνου υστέρησης, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι παραγγελίες στον εξωτερικό υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.



**Σχήμα 4-25:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.1.

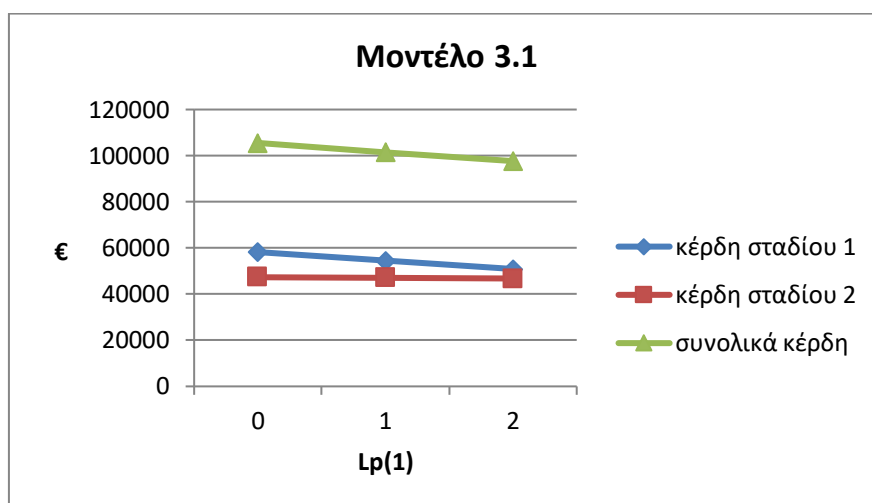
Στο Σχήμα 4-26 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο δεύτερο στάδιο ( $L^d_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται μείωση στα κέρδη των δύο σταδίων αλλά και στα συνολικά κέρδη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μειωμένη παραγωγή του δεύτερου σταδίου, καθώς υπάρχει καθυστέρηση στην άφιξη των παραγγελιών του από το πρώτο στάδιο λόγω του χρόνου υστέρησης, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι παραγγελίες στον εξωτερικό υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.



**Σχήμα 4-26:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.1.

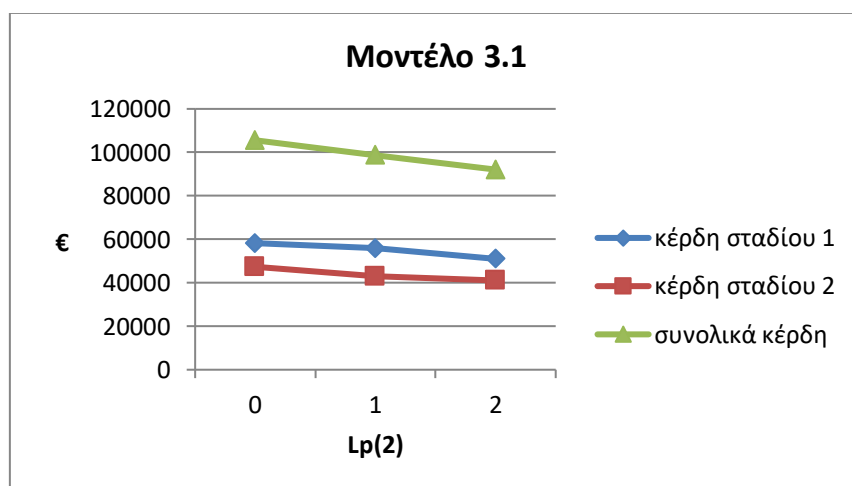
Στο Σχήμα 4-27 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο πρώτο στάδιο ( $L^p_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1. Η

μείωση στα κέρδη οφείλεται στο μειωμένο ύψος της παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία συνοδεύεται με αντίστοιχη αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.



**Σχήμα 4-27:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.1.

Στο Σχήμα 4-28 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο δεύτερο στάδιο ( $L^p_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.1. Η μείωση στα κέρδη οφείλεται στο μειωμένο ύψος της παραγωγής του δεύτερου σταδίου και στην παράλληλη μείωση των παραγγελιών του δευτέρου σταδίου προς το πρώτο στάδιο, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι παραγγελίες στον εξωτερικό υπερβολάβο του δευτέρου σταδίου.



**Σχήμα 4-28:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.1.



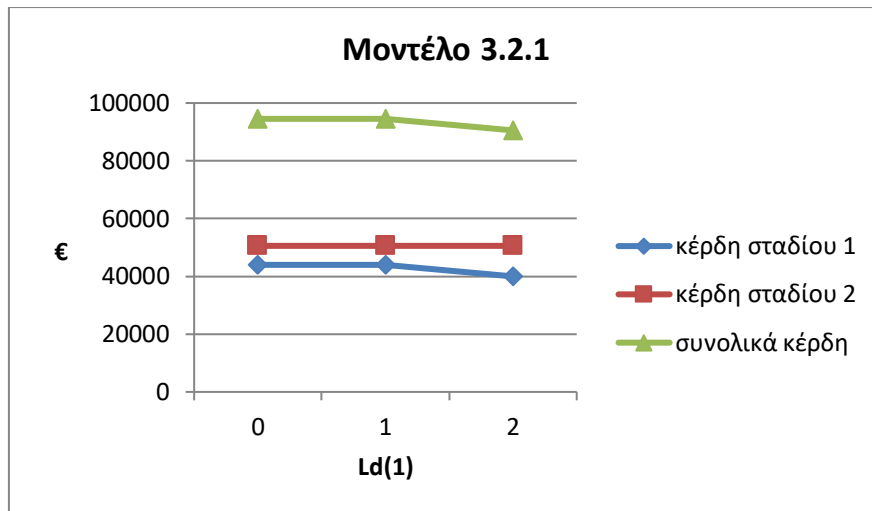
▪ **Επίδραση των θετικών χρόνων υστέρησης για το Πρόβλημα 3.2.1**

Στον Πίνακα 4.27 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την εισαγωγή των θετικών χρόνων υστέρησης (εκτός της πρώτης γραμμής του πίνακα) για το Πρόβλημα 3.2.1, στο οποίο ηγείται το στάδιο 2 και το κόστος του υπερβολάβου  $S_1$  επιβαρύνει το πρώτο στάδιο. Επίσης, στον πίνακα καταγράφονται και οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των χρόνων υστέρησης καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου.

i	Κέρδη			CV	
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Συνολικά	$D_{1,t}$	$D_{2,t}$
1	43975	50550	94525	2,301	2,0055
2	43975	50550	94525	2,3010	2,0055
3	39975	50550	90525	2,2983	2,0055
4	41400	46700	88100	2,2983	2,00682
5	37100	43025	80125	2,7147	2,29347
6	43975	50550	94525	2,301	2,0055
7	39975	50550	90525	2,2983	2,0055
8	45475	46700	92175	2,301	2,00682
9	37300	43025	80325	2,7067	2,29347
10	41400	46700	88100	2,298344	2,0068156
11	45475	46700	92175	2,301	2,00682
12	39975	50550	90525	2,2983	2,0055
13	37350	43025	80375	2,7027	2,29347
14	33350	43025	76375	2,7072	2,29347

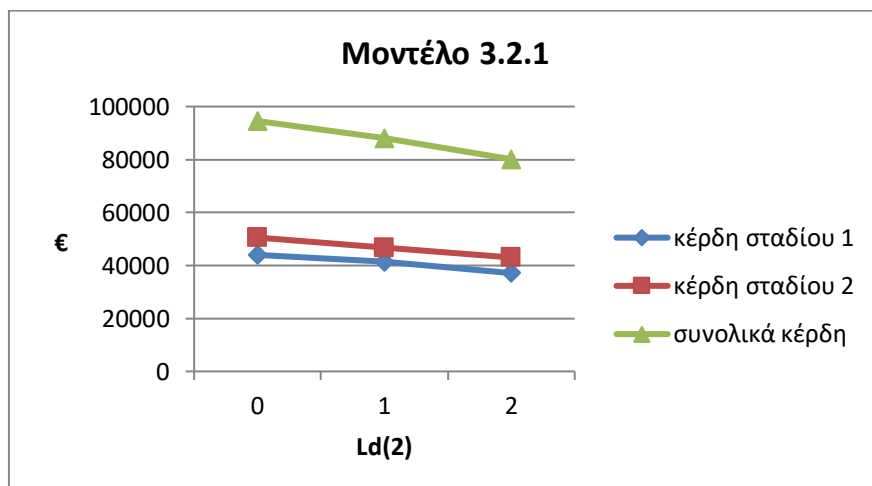
**Πίνακας 4.27:**Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια.

Στο Σχήμα 4-29 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο πρώτο στάδιο ( $L^d_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1. Για χρόνο υστέρησης παραγγελιών  $L^d_1$  ίσο με 1, δεν παρατηρείται αλλαγή στα κέρδη των δύο σταδίων και κατά συνέπεια στα συνολικά κέρδη. Αντίθετα, για χρόνο υστέρησης παραγγελιών  $L^d_1$  ίσο με 2, τα κέρδη του πρώτου σταδίου παρουσιάζουν πτώση, ενώ του δεύτερου σταδίου παραμένουν τα ίδια. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση του ύψους της παραγωγής του πρώτου σταδίου, λόγω της αύξησης του χρόνου παράδοσης των πρώτων υλών του. Κατά συνέπεια, για να επιτευχθεί κάλυψη της ζήτησης του δεύτερου σταδίου αυξάνονται οι παραγγελίες προς τον εξωτερικό υπερβολάβο του πρώτου σταδίου με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος του πρώτου σταδίου καθώς αυτό επωμίζεται το κόστος του υπερβολάβου.



**Σχήμα 4-29:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1.

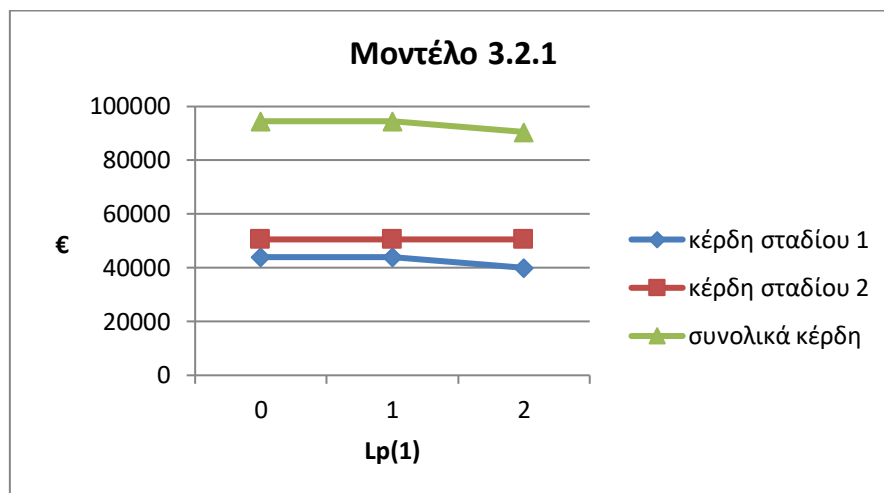
Στο Σχήμα 4-30 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο δεύτερο στάδιο ( $L^d_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται μείωση στα κέρδη των δύο σταδίων αλλά και στα συνολικά κέρδη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μειωμένη παραγωγή του δεύτερου σταδίου, καθώς υπάρχει καθυστέρηση στην άφιξη των πρώτων υλών λόγω του χρόνου υστέρησης, αλλά και στην ταυτόχρονη μείωση των παραγγελιών του στο πρώτο στάδιο. Έτσι, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται οι παραγγελίες προς τον εξωτερικό υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.



**Σχήμα 4-30:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1.

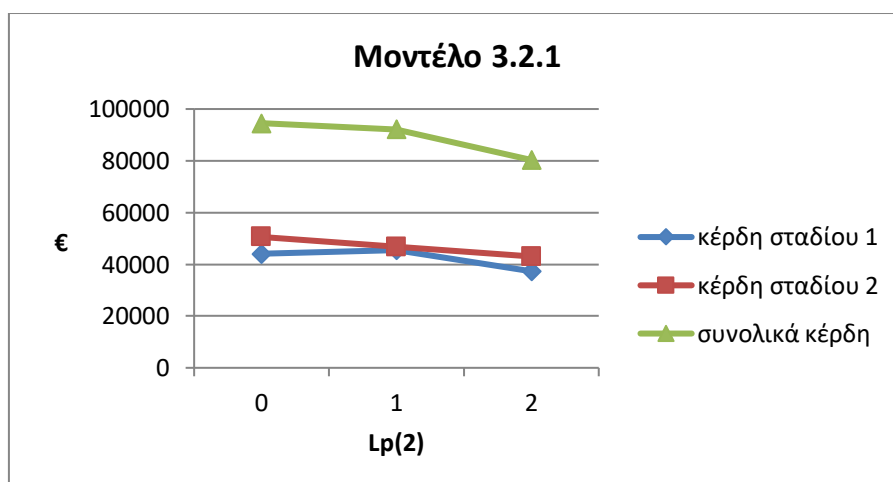
Στο Σχήμα 4-31 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο πρώτο στάδιο ( $L^p_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1. Η μείωση στα συνολικά κέρδη οφείλεται στη μείωση των κερδών του πρώτου σταδίου

που οφείλεται αντίστοιχα στο μειωμένο ύψος της παραγωγής του, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι παραγγελίες στον εξωτερικό υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, το κόστος του οποίου το επωμίζεται το πρώτο στάδιο. Όσον αφορά τα κέρδη του δεύτερου σταδίου, αυτά παραμένουν αμετάβλητα.



Σχήμα 4-31: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κόστος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1.

Στο Σχήμα 4-32 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο δεύτερο στάδιο ( $L^p_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.1. Η μείωση στα κέρδη οφείλεται στο μειωμένο ύψος της παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δευτέρου σταδίου αλλά και στην παράλληλη μείωση των παραγγελιών του δευτέρου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου και του δευτέρου σταδίου για την κάλυψη των ζητήσεων των δύο σταδίων με αποτέλεσμα την αύξηση των κοστών τους αντίστοιχα.



Σχήμα 4-32: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.1.

▪ **Επίδραση των θετικών χρόνων υστέρησης για το Πρόβλημα 3.2.2**

Στον Πίνακα 4.28 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την εισαγωγή των θετικών χρόνων υστέρησης (εκτός της πρώτης γραμμής του πίνακα) για το Πρόβλημα 3.2.2, στο οποίο ηγείται το στάδιο 2 αλλά το κόστος του υπερβολάβου  $S_1$  επιβαρύνει το δεύτερο στάδιο. Επίσης, στον πίνακα καταγράφονται και οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των χρόνων υστέρησης καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου.

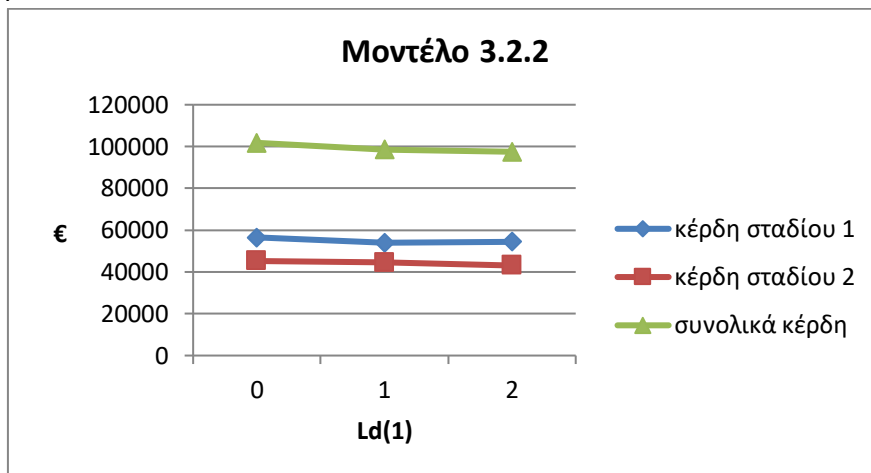
i	Κέρδη			CV	
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Συνολικά	$D_{1,t}$	$D_{2,t}$
1	56525	45250	101775	2,2872	2,05217
2	53975	44550	98525	2,29552	2,005499
3	54450	43075	97525	2,366582	1,7804173
4	53975	41625	95600	2,29552	2,032436
5	51475	37775	89250	2,301	2,03082
6	53975	44550	98525	2,295522	2,0054991
7	54450	43075	97525	2,366582	1,7804173
8	53975	41625	95600	2,295522	2,0324355
9	51475	37775	89250	2,301018	2,0308185
10	51550	40700	92250	2,30102	2,006816
11	51475	40700	92175	2,30102	2,006816
12	54450	43075	97525	2,36658	1,780417
13	51475	37775	89250	2,301018	2,0308185
14	47875	35775	83650	2,71867	2,030818

**Πίνακας 4.28:** Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια.

Στο Σχήμα 4-33 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο πρώτο στάδιο ( $L^d_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2.

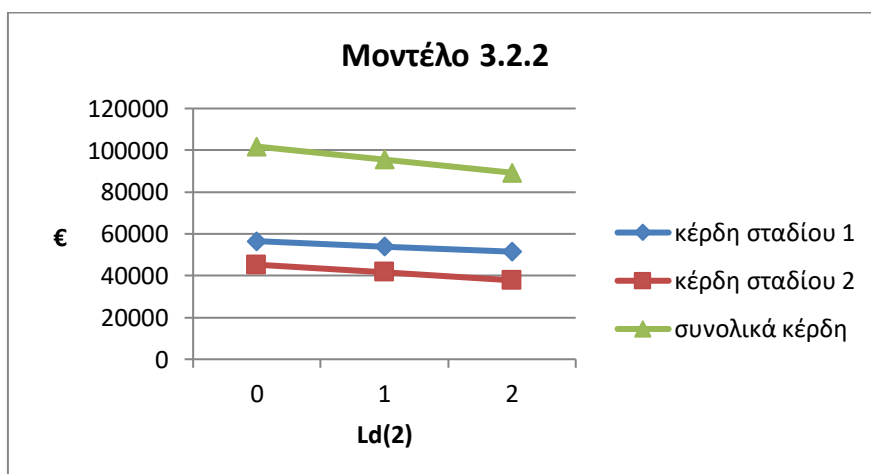
Για χρόνο υστέρησης παραγγελιών  $L^d_1$  ίσο με 1, παρατηρούμε μείωση στα κέρδη των δύο σταδίων και κατά συνέπεια στα συνολικά κέρδη. Η μείωση του κέρδους οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγγελίας του δευτέρου σταδίου προς το πρώτο στάδιο, καθώς και στην παράλληλη μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου (το κόστος του οποίου επωμίζεται το δεύτερο στάδιο). Για χρόνο υστέρησης παραγγελιών  $L^d_1$  ίσο με 2, έχουμε αύξηση των κερδών του πρώτου σταδίου σε σχέση με τα κέρδη του χρόνου υστέρησης  $L^d_1 = 1$ . Η αύξηση αυτή οφείλεται στο ότι η συνολική μείωση στα έσοδα του πρώτου σταδίου είναι μικρότερη από τη συνολική μείωση στα κόστη του σταδίου αυτού. Αντίθετα, τα

κέρδη του δεύτερου σταδίου μειώνονται. Η μείωση αυτή οφείλεται στην αύξηση του σταθερού κόστους παραγγελίας από το πρώτο στάδιο εξαιτίας της υποβολής μιας επιπλέον παραγγελίας του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Το συνολικό κέρδος πάντως μειώνεται καθώς το  $L^d_1$  αυξάνει, κάτι που είναι και αναμενόμενο.



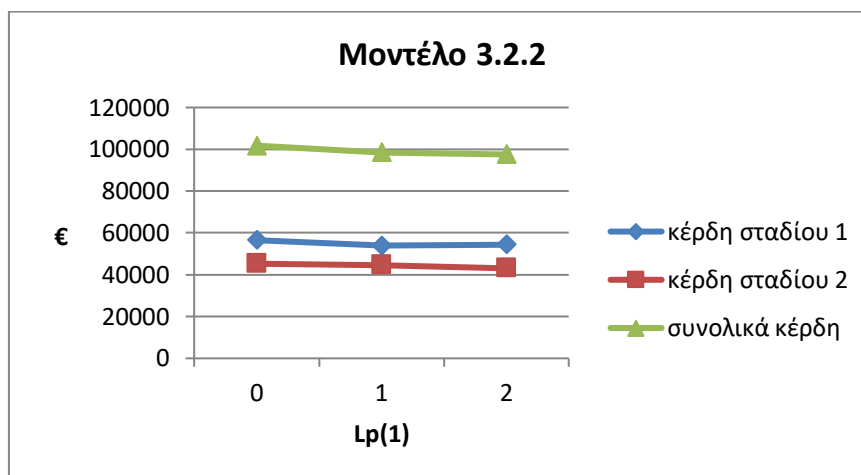
Σχήμα 4-33: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2.

Στο Σχήμα 4-34 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο δεύτερο στάδιο ( $L^d_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2. Στο σχήμα αυτό, παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση του ύψους των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο σε συνδυασμό με τη μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή της παραγωγής αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπεργολάβο του δεύτερου σταδίου. Κατά συνέπεια, αυξάνονται τα κόστη του δεύτερου σταδίου, καθώς το κόστος του υπεργολάβου το επωμίζεται το δεύτερο στάδιο.



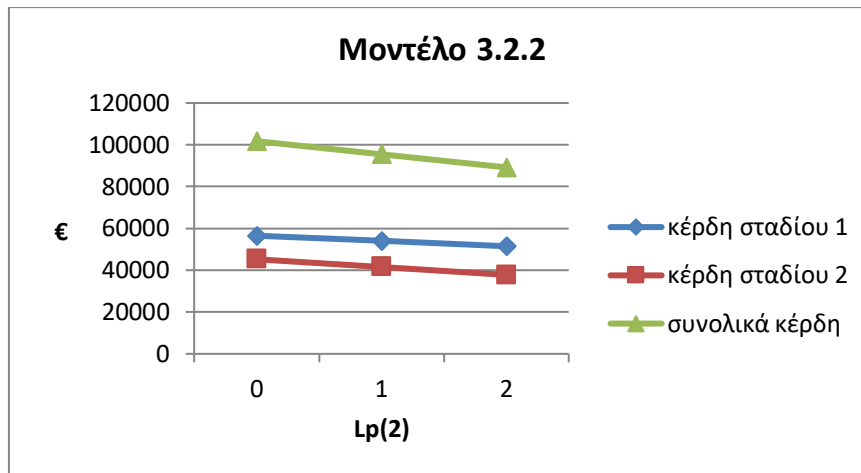
Σχήμα 4-34: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2.

Στο Σχήμα 4-35 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο πρώτο στάδιο ( $L^p_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2. Στην περίπτωση αυτή, παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου. Έτσι, για την ικανοποίηση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο έχουμε αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, το κόστος του οποίου επωμίζεται το δεύτερο στάδιο.



Σχήμα 4-35: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2.

Στο Σχήμα 4-36 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο δεύτερο στάδιο ( $L^p_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.2.2. Στην περίπτωση αυτή, παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου. Επίσης, η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο.



Σχήμα 4-36: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L_p^2$ ) για το Πρόβλημα 3.2.2.

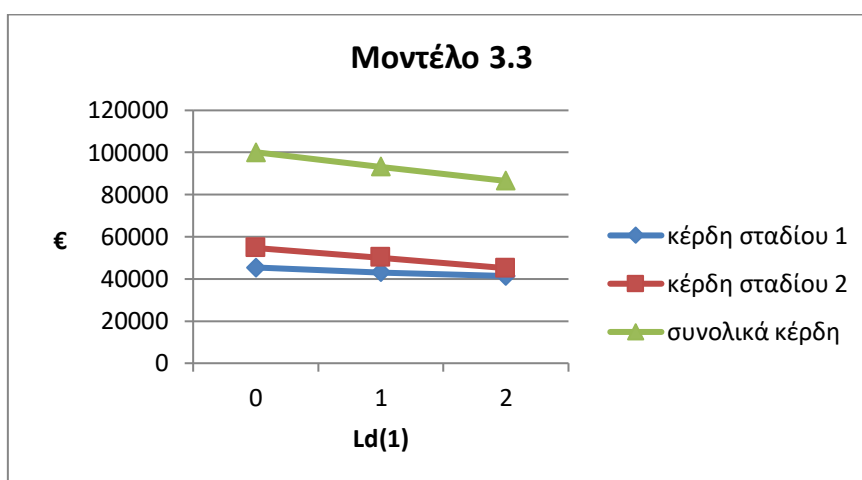
#### ▪ Επίδραση των θετικών χρόνων υστέρησης για το Πρόβλημα 3.3

Στον Πίνακα 4.29 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την εισαγωγή των θετικών χρόνων υστέρησης (εκτός της πρώτης γραμμής του πίνακα) για το Πρόβλημα 3.3, στο οποίο ηγείται το στάδιο 1. Επίσης, στον πίνακα καταγράφονται και οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των χρόνων υστέρησης καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου.

i	Κέρδη			CV	
	Στάδιο 1	Στάδιο 2	Συνολικά	$D_{1,t}$	$D_{2,t}$
1	45425	54700	100125	2,2852	2,1368
2	43100	50100	93200	2,70266	2,100104
3	41400	45100	86500	2,718369	2,4199702
4	43100	50100	93200	2,70266	2,100104
5	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
6	43100	50100	93200	2,702656	2,1001035
7	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
8	43100	50100	93200	2,702656	2,1001035
9	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
10	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
11	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
12	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
13	41400	45100	86500	2,71837	2,41997
14	36400	32700	69100	2,70266	2,766256

Πίνακας 4.29: Επίδραση της εισαγωγής χρόνων υστέρησης στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3, καθώς και καταγραφή των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης για τα δύο στάδια.

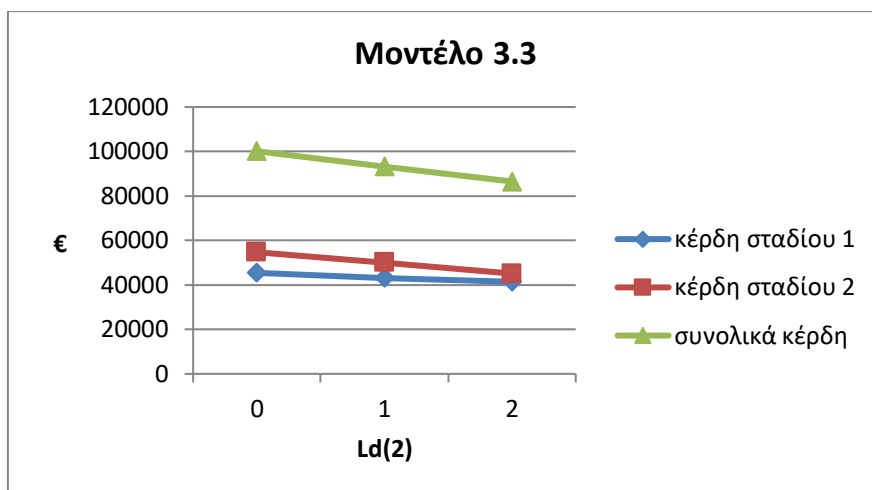
Στο Σχήμα 4-37 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο πρώτο στάδιο ( $L^d_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Επίσης, οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.



**Σχήμα 4-37:** Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 1 ( $L^d_1$ ) για το Πρόβλημα 3.3.

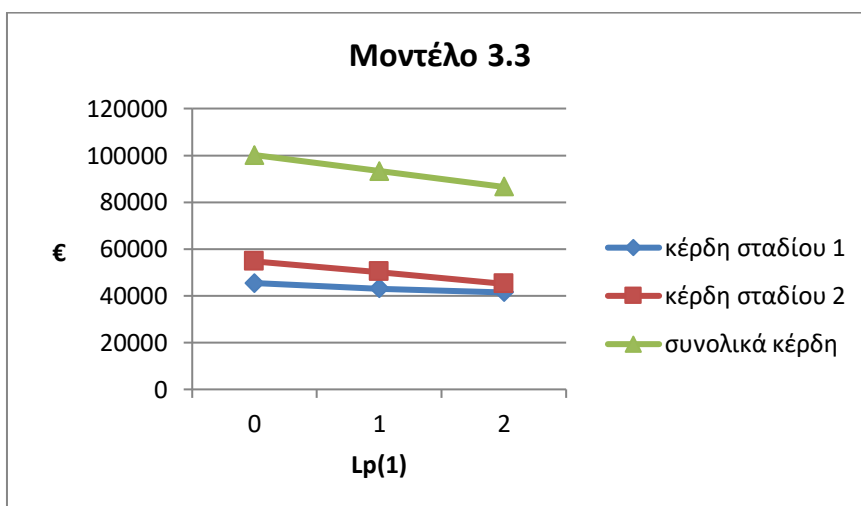
Στο Σχήμα 4-38 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο δεύτερο στάδιο ( $L^d_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3. Στην περίπτωση αυτή, παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Επίσης, οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.





Σχήμα 4-38: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγγελιών στο στάδιο 2 ( $L^d_2$ ) για το Πρόβλημα 3.3.

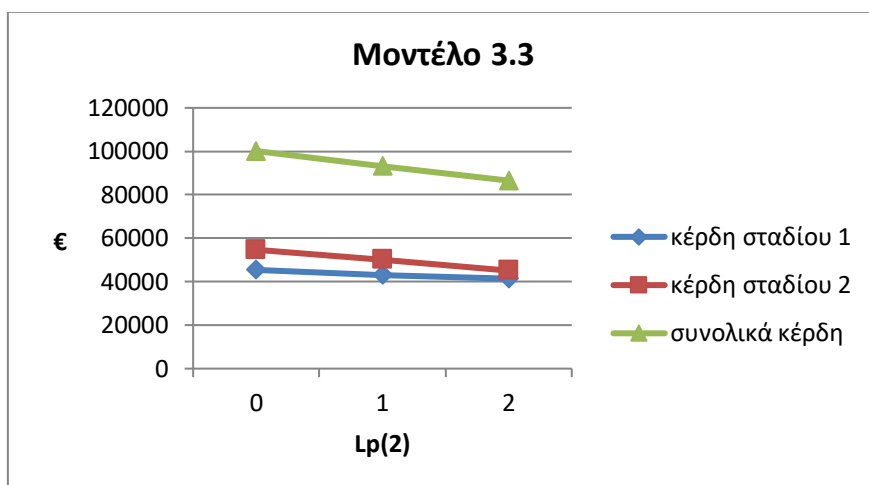
Στο Σχήμα 4-39 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο πρώτο στάδιο ( $L^p_1$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3. Στο σχήμα που ακολουθεί παρατηρούμε μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Επίσης, οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-39: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 1 ( $L^p_1$ ) για το Πρόβλημα 3.3.

Στο Σχήμα 4-40 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση, που έχει η εισαγωγή θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο δεύτερο στάδιο ( $L^p_2$ ), στο κέρδος των δύο σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για το Πρόβλημα 3.3. Στο σχήμα παρατηρείται μείωση στα κέρδη τόσο των δύο σταδίων όσο και στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των παραγγελιών του

δευτέρου σταδίου προς το πρώτο στάδιο. Επίσης, οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.



Σχήμα 4-40: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος λόγω της εισαγωγής θετικού χρόνου υστέρησης παραγωγής στο στάδιο 2 ( $L^p_2$ ) για το Πρόβλημα 3.3.

Για την ταυτόχρονη εισαγωγή περισσότερων του ενός θετικών χρόνων υστέρησης προκύπτουν τα ακόλουθα.

- **Ταυτόχρονη αύξηση των χρόνων υστέρησης παραγγελίας και των δύο σταδίων ( $L^d_1$  και  $L^d_2$ ).**

Στο μοντέλο 3.1 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη της εφοδιαστικής αλυσίδας, λόγω της μείωσης του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.1 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Κατά συνέπεια, η μείωση της παραγωγής οδηγεί σε αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.2 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Τέλος, στο μοντέλο 3.3 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη, η οποία προκύπτει από τη μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του

δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

▪ **Ταυτόχρονη αύξηση των χρόνων υστέρησης παραγγελίας και παραγωγής του πρώτου σταδίου ( $L^d_1$  και  $L^p_1$ ).**

Στο μοντέλο 3.1 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, λόγω της μείωσης του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.1 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων, η οποία και πάλι οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία συνοδεύεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κέρδος του δεύτερου σταδίου παραμένει σταθερό, λόγω του ότι το κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου το επωμίζεται το πρώτο στάδιο.

Στο μοντέλο 3.2.2 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος. Και εδώ, η μείωση οφείλεται σε μείωση των κερδών του πρώτου σταδίου λόγω της μείωσης της παραγωγής του και της αντίστοιχης αύξησης των παραγγελιών του προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου. Στο μοντέλο αυτό όμως, παρατηρείται μείωση και στο κέρδος του δεύτερου σταδίου, καθώς το κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου το επωμίζεται το δεύτερο στάδιο.

Τέλος, και στο μοντέλο 3.3 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η οποία συνοδεύεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

▪ **Ταυτόχρονη αύξηση των χρόνων υστέρησης παραγγελίας και παραγωγής του δεύτερου σταδίου ( $L^d_2$  και  $L^p_2$ ).**

Στο μοντέλο 3.1 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, λόγω της μείωσης που παρατηρείται στο ύψος παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση στην παραγωγή αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.1 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η

οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.2 όπως και στο μοντέλο 3.3, παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

▪ **Ταυτόχρονη αύξηση των χρόνων υστέρησης παραγωγής και των δύο σταδίων ( $L^p_1$  και  $L^p_2$ ).**

Στο μοντέλο 3.1 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων, λόγω της μείωσης του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.1 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής του δεύτερου σταδίου, καθώς και σε μείωση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου. Κατά συνέπεια, για την κάλυψη των ζητήσεων αυξάνονται οι παραγγελίες προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.2 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση της παραγωγής αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Τέλος, στο μοντέλο 3.3 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

▪ **Ταυτόχρονη αύξηση των χρόνων υστέρησης παραγγελίας και παραγωγής και των δύο σταδίων ( $L^d_1$ ,  $L^d_2$ ,  $L^p_1$  και  $L^p_2$ ).**

Στο μοντέλο 3.1 παρατηρείται μείωση στα συνολικά κέρδη, λόγω της μείωσης που παρατηρείται στο ύψος της παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση της παραγωγής συνοδεύεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας

τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.1 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Στο μοντέλο 3.2.2 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, λόγω της μείωσης του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή αντισταθμίζεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας τόσο προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όσο και προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

Τέλος, στο μοντέλο 3.3 παρατηρείται μείωση στο συνολικό κέρδος, η οποία οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου, η συνοδεύεται με αύξηση του ύψους παραγγελίας προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

#### **4.2.2. Αύξηση των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών για τα 2 στάδια**

Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζουμε την επίδραση που επιφέρει στη βέλτιστη λύση η αύξηση των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στον Πίνακα 4.30 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις τιμές των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών σε σχέση με τις πρότυπες τιμές, ενώ η πρώτη γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί στο αριθμητικό παράδειγμα αναφοράς. Για κάθε μια από τις παρακάτω αλλαγές επιλύουμε τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3 και συγκρίνουμε τις βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν με τις βέλτιστες λύσεις του παραδείγματος αναφοράς που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 4.1.

i	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$
1	500	500	1000	3000
2	1000	500	1000	3000
3	2000	500	1000	3000
4	500	1000	1000	3000
5	500	2000	1000	3000
6	500	500	2000	3000
7	500	500	4000	3000
8	500	500	1000	6000
9	500	500	1000	9000

**Πίνακας 4.30: Οι διάφορες περιπτώσεις των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών που εξετάστηκαν.**

▪ **Επίδραση της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  του πρώτου σταδίου**

Στον Πίνακα 4.31 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  του πρώτου σταδίου. Στην πρώτη στήλη του πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς για τιμή  $x_1$  ίση με 500.

		πάγιο κόστος παραγωγής $x_1$		
		500	1000	2000
κέρδη σταδίου 1	3.1	58200	50200	34200
	3.2.1	43975	36975	22975
	3.2.2	56525	48525	33350
	3.3	45425	37800	22800
κέρδη σταδίου 2	3.1	47325	47325	47325
	3.2.1	50550	50550	50550
	3.2.2	45250	45250	45250
	3.3	54700	46800	46800
συνολικά κέρδη	3.1	105525	97525	81525
	3.2.1	94525	87525	73525
	3.2.2	101775	93775	78600
	3.3	100125	84600	69600

Πίνακας 4.31: Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Στον Πίνακα 4.32 που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων για τα διαφορετικά μοντέλα των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των πάγιων κοστών παραγωγής του πρώτου σταδίου καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου. Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στους συντελεστές μεταβλητότητας των ζητήσεων των δύο σταδίων, καθώς δεν παρατηρείται ιδιαίτερη αλλαγή στην παραγωγή των δύο σταδίων και κατά συνέπεια στις παραγγελίες των πρώτων υλών που εκτελούν τα δύο στάδια.

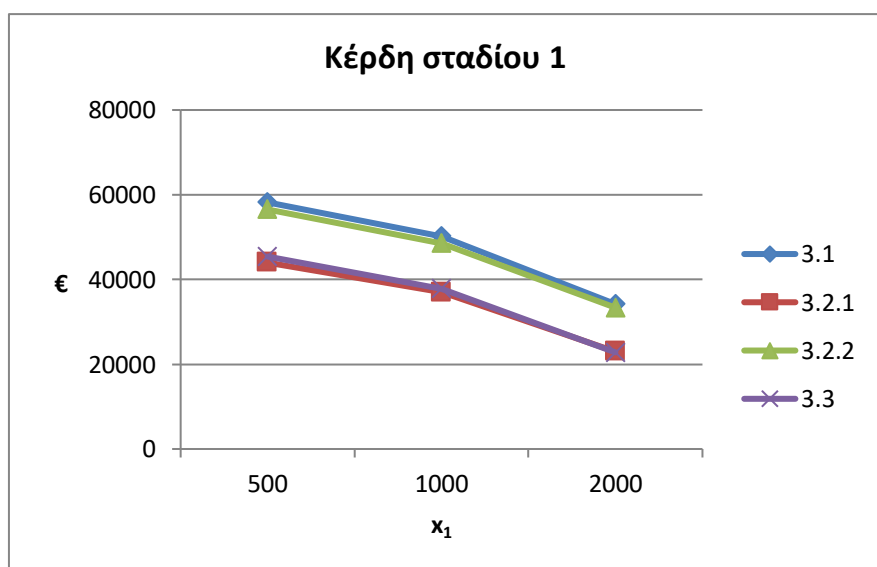
		πάγιο κόστος παραγωγής $x_1$		
		500	1000	2000
$D_{1,t}$	3.1	2,0027	2,015224	2,0027
	3.2.1	2,301	2,301	2,301
	3.2.2	2,2872	2,2872	2,3024
	3.3	2,2852	2,7027	2,7027
$D_{2,t}$	3.1	1,66437	1,6643665	1,66437
	3.2.1	2,0055	2,0055	2,0055
	3.2.2	2,05217	2,05217	2,05217
	3.3	2,1368	2,30236	2,30236

Πίνακας 4.32: Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Έτσι, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει επίδραση στα ακόλουθα:

#### Α. Στα κέρδη του πρώτου σταδίου

Στο Σχήμα 4-41 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  στα κέρδη του πρώτου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-41: Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών του. Η αύξηση αυτή όμως δεν

επηρεάζει τον αριθμό των περιόδων στις οποίες έχουμε παραγωγή, ούτε το συνολικό άθροισμα των παραγόμενων προϊόντων, για το πρώτο στάδιο. Αυτό που διαφέρει είναι το κόστος που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του.

Για το Πρόβλημα 3.2.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών του. Στην περίπτωση αυτή, όπως και στο Πρόβλημα 3.1, η μείωση των κερδών προκύπτει από την αύξηση του κόστους που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του.

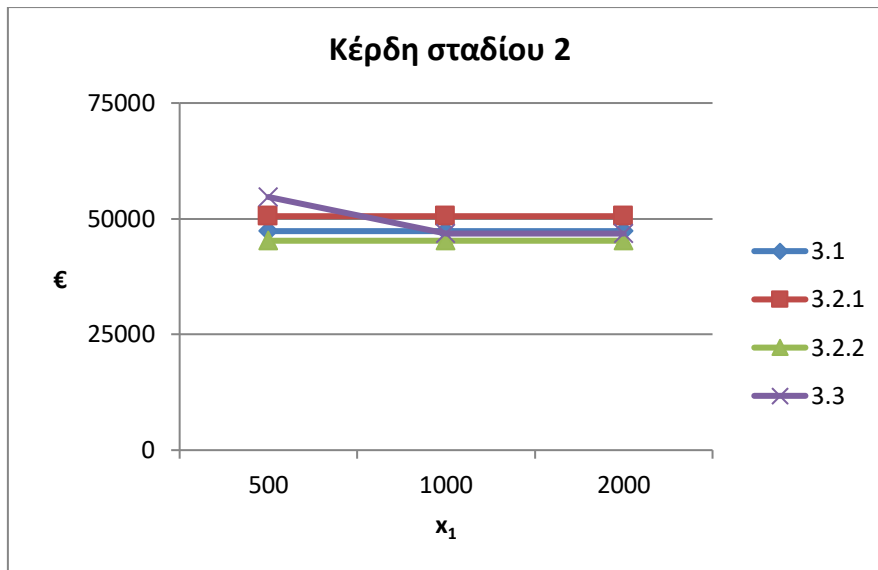
Για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών του. Η αύξηση αυτή δεν επιφέρει αλλαγή στο συνολικό άθροισμα των παραγόμενων προϊόντων, αλλά επηρεάζει τον αριθμό των περιόδων που είναι ενεργή η παραγωγή του πρώτου σταδίου. Για αύξηση της τιμής του  $x_1$  από 500 σε 1000 μονάδες, ο αριθμός των περιόδων στις οποίες έχουμε παραγωγή είναι σταθερός. Αντίθετα, για αύξηση της τιμής του  $x_1$  από 1000 σε 2000 μονάδες, έχουμε μείωση των περιόδων κατά μια στις οποίες είναι ενεργή η παραγωγική μονάδα του πρώτου σταδίου. Η μείωση όμως των κερδών του πρώτου σταδίου οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση του κόστους παραγωγής του, παρόλο που οι περίοδοι παραγωγής μειώθηκαν κατά μία.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών του. Η αύξηση αυτή συνοδεύεται με μείωση των συνολικών παραγόμενων προϊόντων του πρώτου σταδίου αλλά και με μείωση των περιόδων παραγωγής κατά μία. Η μείωση όμως των κερδών του πρώτου σταδίου οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση του κόστους παραγωγής του, παρόλο που οι περίοδοι παραγωγής μειώθηκαν κατά μία.

## **B. Στα κέρδη του δεύτερου σταδίου**

Στο Σχήμα 4-42 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  στα κέρδη του δεύτερου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.





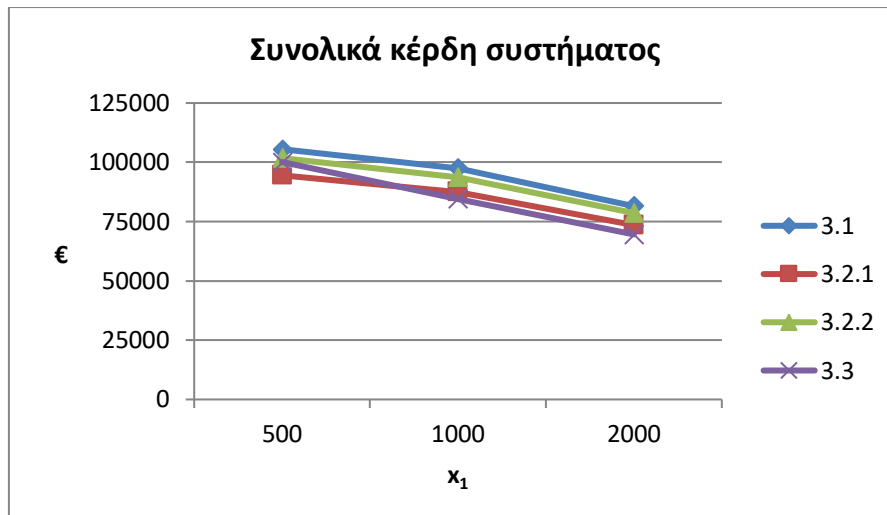
**Σχήμα 4-42:** Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για τα Προβλήματα 3.1, 3.2.1 και 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου  $x_1$  δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στα κέρδη του δεύτερου σταδίου σε σχέση με τη βέλτιστη λύση που προκύπτει για την πρότυπη τιμή ( $x_1=500$ ) στο παράδειγμα αναφοράς. Αυτό συμβαίνει, γιατί σε όλες αυτές τις εκδοχές, η αύξηση του  $x_1$  δεν επηρεάζει τον αριθμό των περιόδων στις οποίες έχουμε παραγωγή, ούτε το συνολικό άθροισμα των παραγόμενων προϊόντων.

Για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των κερδών του δεύτερου σταδίου σε σχέση με τη βέλτιστη λύση του παραδείγματος αναφοράς. Η αύξηση αυτή συνοδεύεται με μείωση των συνολικών παραγόμενων προϊόντων του δεύτερου σταδίου αλλά και με μείωση των περιόδων παραγωγής κατά μια. Η μείωση του συνολικού ύψους παραγωγής του δεύτερου σταδίου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των παραγγελιών του δεύτερου σταδίου στον υπεργολάβο  $S_2$  για την κάλυψη των ζητήσεων. Έτσι, η μείωση των κερδών του δεύτερου σταδίου προκύπτει από την αύξηση του κόστους υπεργολάβου.

### Γ. Στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων

Στο Σχήμα 4-43 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  στα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-43:Μεταβολή στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Όπως, βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα τα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας μειώνονται με αύξηση του παγίου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα:

Για τα Προβλήματα 3.1, 3.2.1 και 3.2.2, η μείωση των συνολικών κερδών οφείλεται στη μείωση των κερδών του πρώτου σταδίου, καθώς τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι αμετάβλητα.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η μείωση των συνολικών κερδών οφείλεται στην μείωση των κερδών τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου.

#### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφορά, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.33 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής

αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	x <sub>1</sub>	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
		d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
			στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	500	135	21225	76425	97650	138	21700	71250	92950	3
0.2	500	147	42263	55725	97988	150	43129	50550	93679	2
0.3	500	159	63425	35025	98450	159	63425	35025	98450	2
0.4	500	175	86475	7425	93900	175	86475	7425	93900	3
0.5	500	187	107683	-13275	94408	187	107683	-13275	94408	3
0.6	500	196	126900	-28800	98100	196	126900	-28800	98100	2
0.7	500	0	0	309300	309300	208	147750	-36000	111750	3
0.8	500	0	0	309300	309300	221	169750	-36000	133750	4
0.9	500	0	0	309300	309300	233	190575	-36000	154575	3
0.1	1000	140	22189	67800	89989	140	22189	67800	89989	2
0.2	1000	155	44687	41925	86612	155	44687	41925	86612	3
0.3	1000	168	67275	19500	86775	168	67275	19500	86775	3
0.4	1000	180	88720	-1200	87520	181	89478	-2925	86553	4
0.5	1000	193	111075	-23625	87450	193	111075	-23625	87450	3
0.6	1000	0	0	309300	309300	203	131675	-36000	95675	3
0.7	1000	0	0	309300	309300	216	153575	-36000	117575	3
0.8	1000	0	0	309300	309300	228	174950	-36000	138950	3
0.9	1000	0	0	309300	309300	241	197125	-36000	161125	3
0.1	2000	149	23366	52275	75641	149	23366	52275	75641	2
0.2	2000	165	48200	24675	72875	165	48200	24675	72875	3
0.3	2000	178	71271	2250	73521	178	71271	2250	73521	3
0.4	2000	190	94200	-18450	75750	192	94629	-21900	72729	3
0.5	2000	0	0	309300	309300	203	116800	-36000	80800	3
0.6	2000	0	0	309300	309300	217	140425	-36000	104425	3
0.7	2000	0	0	309300	309300	230	163368	-36000	127368	3
0.8	2000	0	0	309300	309300	244	187200	-36000	151200	3
0.9	2000	0	0	309300	309300	258	210836	-36000	174836	4

Πίνακας 4.33: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του πρώτου σταδίου.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Για μικρές τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών ή σε μια τιμή μετά από 2-4 επαναλήψεις, για τα διαφορετικά παραδείγματα του παραπάνω πίνακα.
- Για μεγάλες τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-4 επαναλήψεις.
- Όσο το ποσοστό κέρδους του πρώτου σταδίου  $\beta$  αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει η τιμή  $d_2$  που πωλεί τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο
- Όσο αυξάνεται το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$ , τόσο αυξάνονται τα κέρδη του πρώτου σταδίου και μειώνονται τα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Το συνολικά κέρδη αρχικά αυξάνονται, στην συνέχεια μειώνονται και στο τέλος αυξάνονται και πάλι.
- Υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό για το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$  (0,7 στο παράδειγμα αναφοράς) πάνω από το οποίο η τιμή  $d_2$  παλινδρομεί μεταξύ μιας πολύ μεγάλης τιμής και του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει σύγκλιση σε μία τιμή ή έστω σε μια περιοχή ισορροπίας, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πραγματική λύση.
- Το κρίσιμο αυτό ποσοστό μικραίνει όσο αυξάνει το πάγιο κόστος παραγωγής και συνεπώς τα συνολικά πάγια κόστη παραγωγής του πρώτου σταδίου, καθώς γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη η συμφωνία μεταξύ των δύο σταδίων σε μια τιμή  $d_2$  που θα οδηγεί το πρώτο στάδιο σε μεγάλα περιθώρια κέρδους. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρώτο στάδιο για να πετύχει ίδιο περιθώριο κέρδους με αυξημένα όμως τα πάγια κόστη παραγωγής θα πρέπει να αυξήσει την τιμή πώλησης  $d_2$ , με αποτέλεσμα η συμφωνία σε κοινή τιμή να είναι εφικτή σε μικρότερα ποσοστά, καθώς το δεύτερο στάδιο θα πρέπει να αγοράσει και αυτό σε μια συμφέρουσα τιμή που θα αφήνει και σε αυτό το περιθώριο κερδοφορίας.
- **Επίδραση της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  του δεύτερου σταδίου**

Στον Πίνακα 4.34 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  του δεύτερου σταδίου. Στην πρώτη στήλη του πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς για τιμή  $x_2$  ίση με 500. Ενώ, στον Πίνακα 4.35 που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων για τα διαφορετικά μοντέλα των παραδειγμάτων που

εξετάστηκαν. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των πάγιων κοστών παραγωγής του δευτέρου σταδίου καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου. Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δευτέρου σταδίου δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στους συντελεστές μεταβλητότητας των ζητήσεων των δύο σταδίων, καθώς δεν παρατηρείται ιδιαίτερη αλλαγή στην παραγωγή των δύο σταδίων και κατά συνέπεια στις παραγγελίες των πρώτων υλών που εκτελούν τα δύο στάδια. Βέβαια, κάποιες αλλαγές που παρατηρούνται οφείλονται σε αλλαγές του μεγέθους των παρτίδων των προϊόντων, στις κατανέμονται τα προϊόντα για την παράδοσή τους στο επόμενο στάδιο.

		πάγιο κόστος παραγωγής $\chi_2$		
		500	1000	2000
κέρδη σταδίου 1	3.1	58200	58200	62000
	3.2.1	43975	43900	43975
	3.2.2	56525	59600	58000
	3.3	45425	45425	45425
κέρδη σταδίου 2	3.1	47325	38325	17375
	3.2.1	50550	41550	23550
	3.2.2	45250	36250	18900
	3.3	54700	46700	30700
συνολικά κέρδη	3.1	105525	96525	79375
	3.2.1	94525	85450	67525
	3.2.2	101775	95850	76900
	3.3	100125	92125	76125

Πίνακας 4.34: Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $\chi_2$  του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

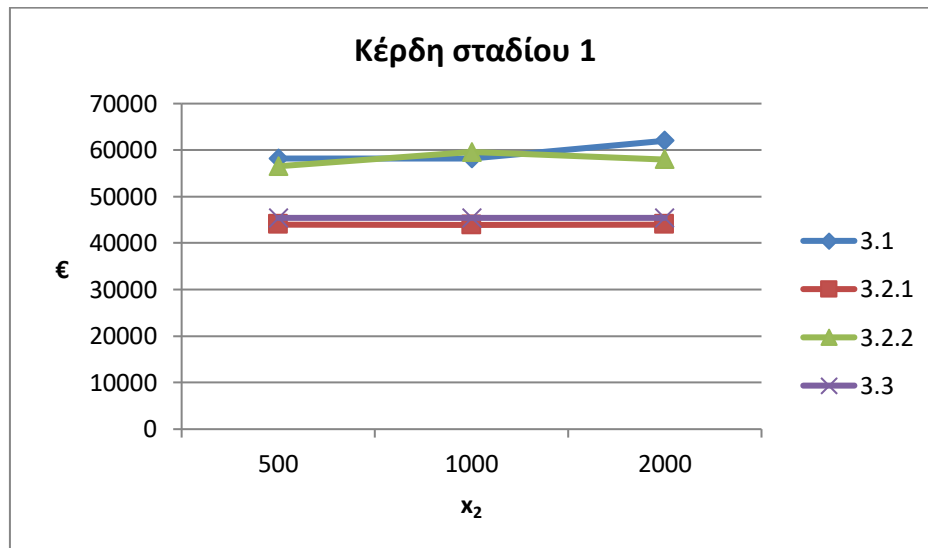
		πάγιο κόστος παραγωγής $\chi_2$		
		500	1000	2000
$D_{1,t}$	3.1	2,0027	2,0152	2,3683
	3.2.1	2,301	2,301	2,301
	3.2.2	2,2872	2,3195	1,9913
	3.3	2,2852	2,2852	2,2852
$D_{2,t}$	3.1	1,66437	1,66437	1,65861
	3.2.1	2,0055	2,0055	2,0055
	3.2.2	2,05217	1,85281	1,78959
	3.3	2,1368	2,1368	2,1368

Πίνακας 4.35: Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $\chi_2$  του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Έτσι, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου έχει επίδραση στα ακόλουθα:

#### Α. Στα κέρδη του πρώτου σταδίου

Στο Σχήμα 4-44 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  στα κέρδη του πρώτου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-44: Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου έχει επίδραση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, τα κέρδη του πρώτου σταδίου, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 500 σε 1000 μονάδες, παραμένουν αμετάβλητα. Αντίθετα, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 1000 σε 2000 μονάδες, τα κέρδη του πρώτου σταδίου αυξάνονται. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη μείωση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση της παραγωγής του πρώτου σταδίου.

Για το Πρόβλημα 3.2.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στα κέρδη του πρώτου σταδίου, καθώς δεν προκαλεί κάποια αλλαγή στο ύψος της παραγωγής ή στο ύψος των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.

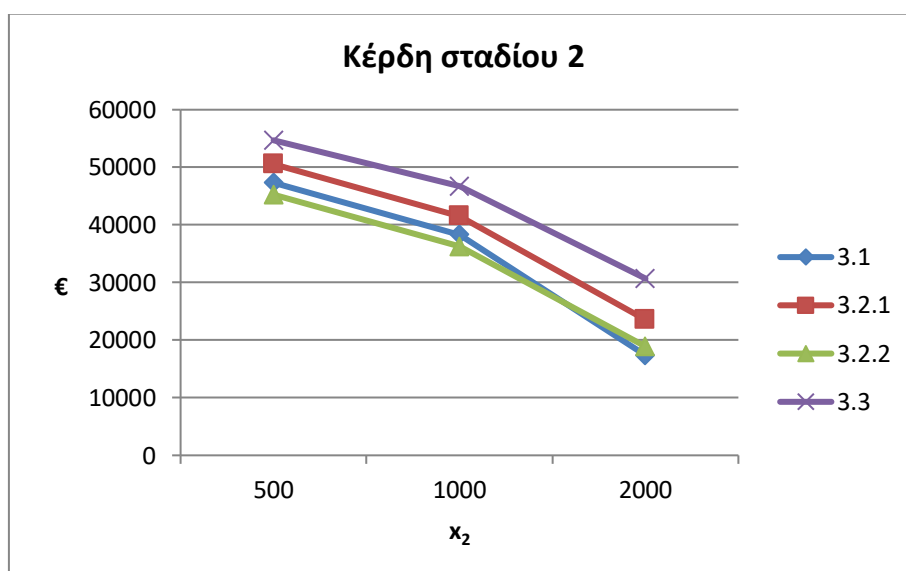
Για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου έχει επίδραση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, τα κέρδη του πρώτου σταδίου, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 500 σε 1000 μονάδες αυξάνονται. Αντίθετα, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 1000 σε 2000 μονάδες, τα κέρδη του πρώτου σταδίου μειώνονται. Οι αλλαγές που προκύπτουν στα κέρδη του

πρώτου σταδίου οφείλονται σε αλλαγές του ύψους παραγωγής αλλά και του ύψους παραγγελιών προς τον υπερβολικό του πρώτου σταδίου. Βέβαια, οι αλλαγές που προκύπτουν δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Τέλος, για το πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στα κέρδη του πρώτου σταδίου, καθώς δεν προκαλεί κάποια αλλαγή στο ύψος της παραγωγής ή στο ύψος των παραγγελιών προς τον υπερβολικό του πρώτου σταδίου.

## Β. Στα κέρδη του δεύτερου σταδίου

Στο Σχήμα 4-45 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  στα κέρδη του δεύτερου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-45: Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 500 σε 1000 μονάδες, η μείωση αυτή οφείλεται στο διαφορετικό κόστος που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του. Ενώ, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 1000 σε 2000 μονάδες, η μείωση στα κέρδη οφείλεται τόσο στην αύξηση του πάγιου κόστους όσο και στην αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολικό του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζει τη μείωση του ύψους της παραγωγής του δεύτερου σταδίου.

Για το Πρόβλημα 3.2.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή

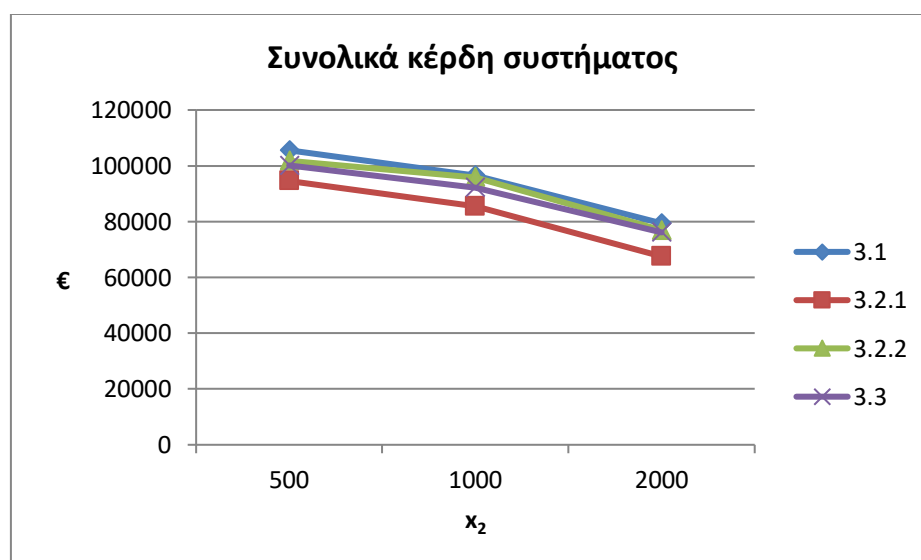
οφείλεται αποκλειστικά στο κόστος που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του.

Για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 500 σε 1000 μονάδες, η μείωση αυτή οφείλεται στο διαφορετικό κόστος που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του. Ενώ, για αύξηση της τιμής του  $x_2$  από 1000 σε 2000 μονάδες, η μείωση στα κέρδη οφείλεται τόσο στην αύξηση του πάγιου κόστους όσο και στην αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζει τη μείωση του ύψους της παραγωγής του δεύτερου σταδίου.

Τέλος, για το πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή οφείλεται αποκλειστικά στο κόστος που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής του.

#### Γ. Στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων

Στο Σχήμα 4-46 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  στα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-46: Μεταβολή στο συνολικό κέρδος των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγωγής  $x_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Όπως, βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα τα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας μειώνονται με αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου. Σε όλες τις εκδοχές του προβλήματος η μείωση



των συνολικών κερδών οφείλεται στην μείωση των κερδών τόσο του πρώτου όσο και του δευτέρου σταδίου.

### Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του δευτέρου σταδίου

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του δευτέρου σταδίου, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.36 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	x <sub>2</sub>	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
		d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
			στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	500	135	21225	76425	97650	138	21700	71250	92950	3
0.2	500	147	42263	55725	97988	150	43129	50550	93679	2
0.3	500	159	63425	35025	98450	159	63425	35025	98450	2
0.4	500	175	86475	7425	93900	175	86475	7425	93900	3
0.5	500	187	107683	-13275	94408	187	107683	-13275	94408	3
0.6	500	196	126900	-28800	98100	196	126900	-28800	98100	2
0.7	500	0	0	309300	309300	208	147750	-36000	111750	3
0.8	500	0	0	309300	309300	221	169750	-36000	133750	4
0.9	500	0	0	309300	309300	233	190575	-36000	154575	3
0.1	1000	137	21550	63975	85525	138	21700	62250	83950	4
0.2	1000	147	42400	46725	89125	150	43325	41550	84875	2
0.3	1000	159	63350	26025	89375	159	63350	26025	89375	2
0.4	1000	175	86310	-1575	84735	175	86310	-1575	84735	3
0.5	1000	187	107592	-22275	85317	187	107592	-22275	85317	3
0.6	1000	0	0	300300	300300	200	129375	-36000	93375	4
0.7	1000	0	0	300300	300300	212	150625	-36000	114625	4
0.8	1000	0	0	300300	300300	225	172750	-36000	136750	4
0.9	1000	0	0	300300	300300	237	194050	-36000	158050	4

0.1	2000	137	21550	45975	67525	137	21550	45975	67525	3
0.2	2000	147	42425	28725	71150	147	42425	28725	71150	2
0.3	2000	160	62800	6500	69300	160	62800	6500	69300	3
0.4	2000	171	83300	-12200	71100	172	84200	-13900	70300	3
0.5	2000	0	0	282300	282300	187	107575	-36000	71575	5
0.6	2000	0	0	282300	282300	200	129376	-36000	93376	4
0.7	2000	0	0	282300	282300	212	150700	-36000	114700	4
0.8	2000	0	0	282300	282300	225	172500	-36000	136500	4
0.9	2000	0	0	282300	282300	237	193705	-36000	157705	4

**Πίνακας 4.36:** Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου.

Ομοίως και εδώ, όπως και στην περίπτωση των διάφορων κοστών παραγωγής του πρώτου σταδίου, από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Για μικρές τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών ή σε μια τιμή μετά από 2-4 επαναλήψεις, για τα διαφορετικά παραδείγματα του παραπάνω πίνακα.
- Για μεγάλες τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-5 επαναλήψεις.
- Όσο το ποσοστό κέρδους του πρώτου σταδίου  $\beta$  αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει η τιμή  $d_2$  που πωλεί τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο
- Όσο αυξάνεται το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$ , τόσο αυξάνονται τα κέρδη του πρώτου σταδίου και μειώνονται τα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Το συνολικά κέρδη αρχικά αυξάνονται, στην συνέχεια μειώνονται και στο τέλος αυξάνονται και πάλι.
- Υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό για το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$  (0,7 στο παράδειγμα αναφοράς) πάνω από το οποίο η τιμή  $d_2$  παλινδρομεί μεταξύ μιας πολύ μεγάλης τιμής και του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει σύγκλιση σε μία τιμή ή έστω σε μια περιοχή ισορροπίας, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πραγματική λύση.
- Το κρίσιμο αυτό ποσοστό μικραίνει όσο αυξάνει το πάγιο κόστος παραγωγής και συνεπώς τα συνολικά πάγια κόστη παραγωγής του δεύτερου σταδίου, καθώς γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη η συμφωνία μεταξύ των δύο σταδίων σε μια τιμή  $d_2$  που θα οδηγεί το πρώτο στάδιο σε μεγάλα περιθώρια κέρδους. Με αυξημένο το πάγιο κόστος παραγωγής του δεύτερου σταδίου ωθείται η αύξηση τιμής πώλησης  $d_2$ . Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι παραγγελίες του

δευτέρου σταδίου γίνονται πιο αραιά με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα κόστη αποθέματος του πρώτου σταδίου, καθώς καλείται να καλύψει τις μεγάλες παραγγελίες του δευτέρου σταδίου, με αποτέλεσμα όμως να μην ικανοποιείται το δεύτερο στάδιο το οποίο για να έχει τα μέγιστα δυνατά κέρδη επιθυμεί μια χαμηλότερη τιμή.

■ **Επίδραση της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  του πρώτου σταδίου**

Στον Πίνακα 4.37 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  του πρώτου σταδίου. Στην πρώτη στήλη του πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς για τιμή  $\gamma_1$  ίση με 1000.

		πάγιο κόστος παραγγελιών $\gamma_1$		
		1000	2000	4000
κέρδη σταδίου 1	3.1	58200	54900	49000
	3.2.1	43975	40975	36975
	3.2.2	56525	53225	48875
	3.3	45425	42400	38400
κέρδη σταδίου 2	3.1	47325	47325	48750
	3.2.1	50550	50550	50550
	3.2.2	45250	45250	45250
	3.3	54700	49200	46800
συνολικά κέρδη	3.1	105525	102225	97750
	3.2.1	94525	91525	87525
	3.2.2	101775	98475	94125
	3.3	100125	91600	85200

Πίνακας 4.37: Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Στον Πίνακα 4.38 που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων για τα διαφορετικά μοντέλα των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν. Για όλες τις διαφορετικές τιμές των πάγιων κοστών παραγγελιών του πρώτου σταδίου καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου. Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί την αύξηση των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών προϊόντων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος, καθώς η αύξηση αυτή ωθεί το πρώτο στάδιο να παραγγέλνει σε λιγότερες περιόδους αλλά σε μεγαλύτερες παρτίδες προϊόντων από την αρχική προμηθεύτρια εταιρία. Αντίθετα, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών δεν

επιφέρει κάποια σημαντική αλλαγή στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων προϊόντων.

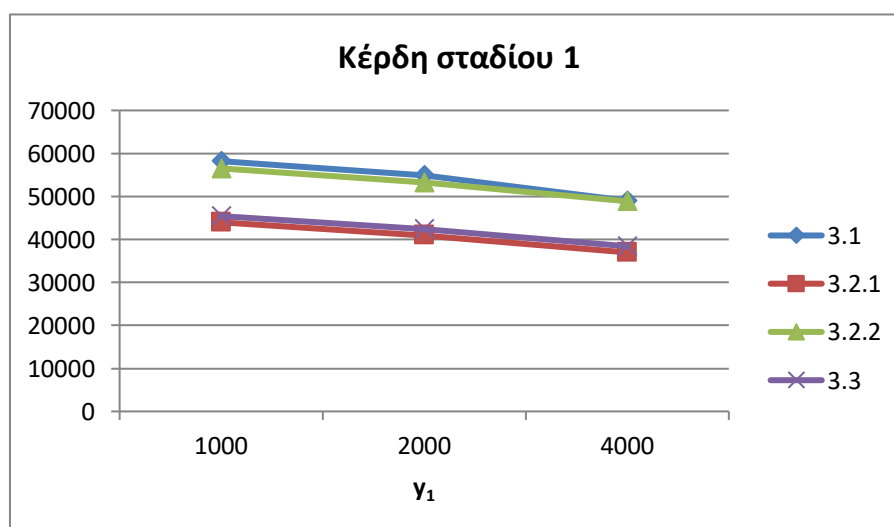
		πάγιο κόστος παραγγελιών $\gamma_1$		
		1000	2000	4000
$D_{1,t}$	3.1	2,0027	2,7189	3,4186
	3.2.1	2,301	3,388	3,388
	3.2.2	2,2872	2,7511	3,39
	3.3	2,2852	3,3962	3,3962
$D_{2,t}$	3.1	1,66437	1,66437	1,85281
	3.2.1	2,0055	2,0055	2,0055
	3.2.2	2,05217	2,05217	2,05217
	3.3	2,1368	2,30236	2,30236

Πίνακας 4.38: Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  του πρώτου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Έτσι, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου έχει επίδραση στα ακόλουθα:

#### Α. Στα κέρδη του πρώτου σταδίου

Στο Σχήμα 4-47 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  στα κέρδη του πρώτου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-47: Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, τα κέρδη του πρώτου σταδίου, για αύξηση της τιμής του  $y_1$  από 1000 σε 2000 μονάδες, μειώνονται λόγω της αύξησης του κόστους παραγγελιών που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, παρόλο που μειώνονται κατά μια οι περίοδοι στις οποίες παραγγέλλει. Για αύξηση της τιμής του  $y_1$  από 2000 σε 4000 μονάδες, η μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου οφείλεται και πάλι στην αύξηση του κόστους παραγγελιών που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, παρόλο που μειώνονται κατά μια οι περίοδοι στις οποίες παραγγέλλει. Επιπλέον, εδώ η μείωση στα κέρδη οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.

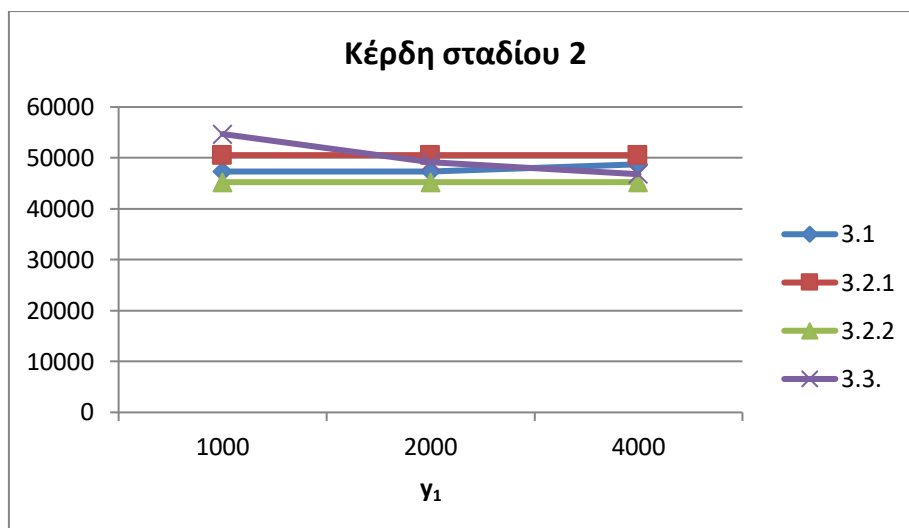
Για το Πρόβλημα 3.2.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου, παρόλο που οι περίοδοι στις οποίες υποβάλλει παραγγελίες το πρώτο στάδιο μειώνονται κατά δύο. Η μείωση στα κέρδη οφείλεται στο κόστος που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών.

Για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου, παρόλο που οι περίοδοι στις οποίες υποβάλλει παραγγελίες το πρώτο στάδιο μειώνονται. Η μείωση στα κέρδη οφείλεται στο κόστος που επωμίζεται το πρώτο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου, καθώς αυξάνεται το κόστος που επωμίζεται το πρώτο στάδιο λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών. Βέβαια, στη περίπτωση αυτή, ο αριθμός των περιόδων στις οποίες υποβάλλει τις παραγγελίες του το πρώτο στάδιο δεν αλλάζει.

## **B. Στα κέρδη του δευτέρου σταδίου**

Στο Σχήμα 4-48 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $y_1$  στα κέρδη του δεύτερου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



**Σχήμα 4-48: Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.**

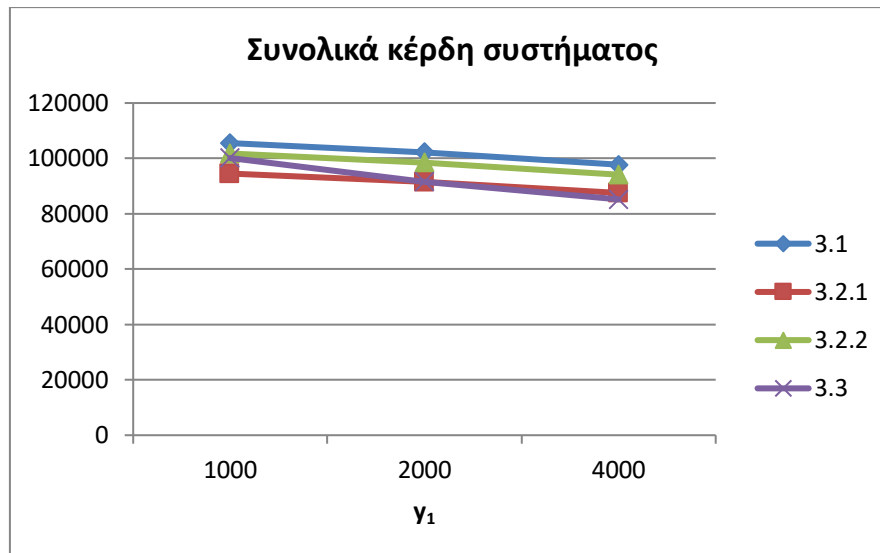
Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί επίδραση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, τα κέρδη του δεύτερου σταδίου, για αύξηση της τιμής του  $\gamma_1$  από 1000 σε 2000 μονάδες, παραμένουν αμετάβλητα. Για αύξηση της τιμής του  $\gamma_1$  από 2000 σε 4000 μονάδες, τα κέρδη του δεύτερου σταδίου αυξάνονται. Η αύξηση στα κέρδη του σταδίου οφείλεται σε μείωση των περιόδων κατά μια στις οποίες υποβάλλει τις παραγγελίες του το δεύτερο προς το πρώτο στάδιο.

Για το Πρόβλημα 3.2.1 και για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στα κέρδη του δεύτερου σταδίου, τα οποία παραμένουν αμετάβλητα.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Η μείωση οφείλεται στη μείωση του ύψους παραγωγής αλλά και στη μείωση των περιόδων κατά μία στις οποίες έχουμε παραγωγή. Κατά συνέπεια, αυξάνονται οι παραγγελίες προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου και το αντίστοιχο κόστος.

### **Γ. Στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων**

Στο Σχήμα 4-49 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  στα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-49: Μεταβολή στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_1$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Όπως, βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα τα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας μειώνονται με αύξηση του παγίου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα:

Για τα Προβλήματα 3.1 και 3.3, η μείωση των συνολικών κερδών οφείλεται στην μείωση των κερδών τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου.

Για τα Προβλήματα 3.2.1 και 3.2.2, η μείωση των συνολικών κερδών οφείλεται στη μείωση των κερδών του πρώτου σταδίου, καθώς τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι αμετάβλητα.

#### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.39 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	γ <sub>1</sub>	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
		d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
			στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	1000	135	21225	76425	97650	138	21700	71250	92950	3
0.2	1000	147	42263	55725	97988	150	43129	50550	93679	2
0.3	1000	159	63425	35025	98450	159	63425	35025	98450	2
0.4	1000	175	86475	7425	93900	175	86475	7425	93900	3
0.5	1000	187	107683	-13275	94408	187	107683	-13275	94408	3
0.6	1000	196	126900	-28800	98100	196	126900	-28800	98100	2
0.7	1000	0	0	309300	309300	208	147750	-36000	111750	3
0.8	1000	0	0	309300	309300	221	169750	-36000	133750	4
0.9	1000	0	0	309300	309300	233	190575	-36000	154575	3
0.1	2000	137	22100	72975	95075	139	21950	69525	91475	3
0.2	2000	149	43025	52275	95300	149	43025	52275	95300	2
0.3	2000	162	64800	29850	94650	162	64800	29850	94650	2
0.4	2000	177	87350	3975	91325	177	87350	3975	91325	3
0.5	2000	189	108925	-16725	92200	190	109775	-18450	91325	5
0.6	2000	0	0	309300	309300	205	121425	-36000	85425	4
0.7	2000	0	0	309300	309300	212	151275	-36000	115275	4
0.8	2000	0	0	309300	309300	224	171900	-36000	135900	3
0.9	2000	0	0	309300	309300	237	193975	-36000	157975	4
0.1	4000	139	21875	69525	91400	139	21875	69525	91400	2
0.2	4000	155	44975	41925	86900	155	44975	41925	86900	3
0.3	4000	168	67275	19500	86775	168	67275	19500	86775	3
0.4	4000	177	87450	3975	91425	181	89775	-2925	86850	3
0.5	4000	193	110982	-23625	87357	193	110982	-23625	87357	3
0.6	4000	0	0	309300	309300	203	131525	-36000	95525	3
0.7	4000	0	0	309300	309300	216	154000	-36000	118000	4
0.8	4000	0	0	309300	309300	229	176425	-36000	140425	4
0.9	4000	0	0	309300	309300	241	196975	-36000	160975	4

Πίνακας 4.39: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Για μικρές τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών ή σε μια τιμή μετά από 2-5 επαναλήψεις, για τα διαφορετικά παραδείγματα του παραπάνω πίνακα.



- Για μεγάλες τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-4 επαναλήψεις.
- Όσο το ποσοστό κέρδους του πρώτου σταδίου  $\beta$  αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει η τιμή  $d_2$  που πωλεί τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο
- Όσο αυξάνεται το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$ , τόσο αυξάνονται τα κέρδη του πρώτου σταδίου και μειώνονται τα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Το συνολικά κέρδη αρχικά αυξάνονται, στην συνέχεια μειώνονται και στο τέλος αυξάνονται και πάλι.
- Υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό για το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$  (0,7 στο παράδειγμα αναφοράς) πάνω από το οποίο η τιμή  $d_2$  παλινδρομεί μεταξύ μιας πολύ μεγάλης τιμής και του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει σύγκλιση σε μία τιμή ή έστω σε μια περιοχή ισορροπίας, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πραγματική λύση.
- **Επίδραση της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  του δεύτερου σταδίου**

Στον Πίνακα 4.40 που ακολουθεί καταγράφονται τα επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και τα συνολικά κέρδη του συστήματος, όπως προκύπτουν μετά την αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  του δεύτερου σταδίου. Στην πρώτη στήλη του πίνακα καταγράφονται τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς για τιμή  $\gamma_2$  ίση με 3000.

		πάγιο κόστος παραγγελιών $\gamma_2$		
		3000	6000	9000
κέρδη σταδίου 1	3.1	58200	56100	55000
	3.2.1	43975	28000	28000
	3.2.2	56525	52300	45025
	3.3	45425	34600	27200
κέρδη σταδίου 2	3.1	47325	30750	17450
	3.2.1	50550	39675	30675
	3.2.2	45250	31725	21225
	3.3	54700	42000	29725
συνολικά κέρδη	3.1	105525	86850	72450
	3.2.1	94525	67675	58675
	3.2.2	101775	84025	66250
	3.3	100125	76600	56925

Πίνακας 4.40: Επιμέρους κέρδη των δύο σταδίων αλλά και συνολικά κέρδη για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Στον Πίνακα 4.41 που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας για τις ζητήσεις των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων για τα διαφορετικά μοντέλα των παραδειγμάτων που εξετάστηκαν. Για τις περισσότερες τιμές των πάγιων κοστών παραγγελιών του δεύτερου σταδίου καταδεικνύεται το φαινόμενο του μαστιγίου. Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προκαλεί την αύξηση των συντελεστών μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος, καθώς η αύξηση αυτή ωθεί και τα δύο στάδια να παραγγέλνουν σε λιγότερες περιόδους αλλά σε μεγαλύτερες παρτίδες προϊόντων από τον προμηθευτή τους.

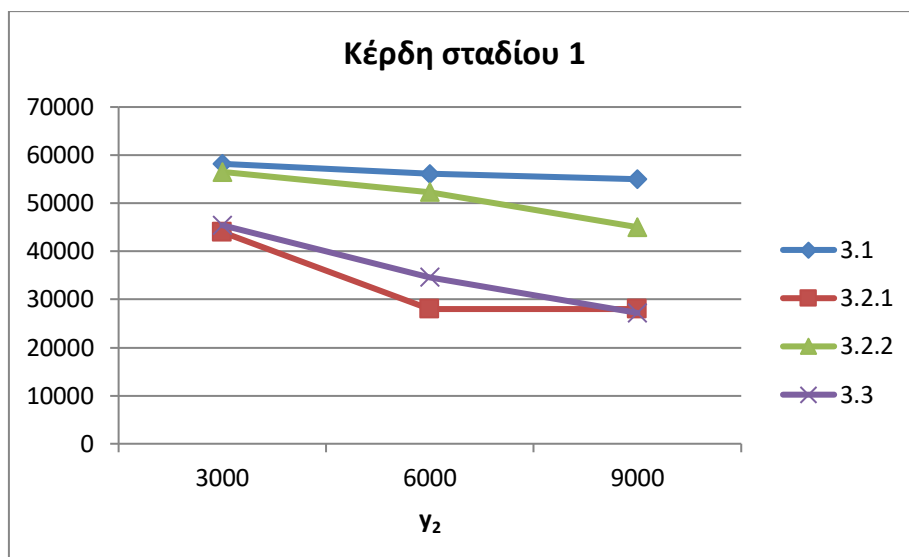
		πάγιο κόστος παραγγελιών $\gamma_2$		
		3000	6000	9000
$D_{1,t}$	3.1	2,0027	2,3195	2,7027
	3.2.1	2,301	2,7882	2,7882
	3.2.2	2,2872	2,7112	2,7275
	3.3	2,2852	2,7112	2,7275
$D_{2,t}$	3.1	1,66437	1,8528	2,4607
	3.2.1	2,0055	2,7085	2,7085
	3.2.2	2,05217	2,3731	2,7432
	3.3	2,1368	2,7225	3,3943

Πίνακας 4.41: Συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων και αρχικών προϊόντων για αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  του δεύτερου σταδίου για τα διαφορετικά μοντέλα του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Έτσι, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου έχει επίδραση στα ακόλουθα:

#### A. Στα κέρδη του πρώτου σταδίου

Στο Σχήμα 4-50 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  στα κέρδη του πρώτου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



**Σχήμα 4-50: Μεταβολή στο κέρδος του πρώτου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.**

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δευτέρου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση της τιμής του  $\gamma_2$  από 3000 σε 6000 μονάδες, η μείωση οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγωγής, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όπως επίσης και σε μείωση κατά μια των περιόδων στις οποίες το πρώτο στάδιο υποβάλλει παραγγελίες στην αρχική προμηθεύτρια εταιρία. Για αύξηση της τιμής του  $\gamma_2$  από 6000 σε 9000 μονάδες, η μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου οφείλεται και πάλι σε μείωση του ύψους παραγωγής, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου, όπως επίσης και σε μείωση κατά μια των περιόδων στις οποίες το πρώτο στάδιο υποβάλλει παραγγελίες στην αρχική προμηθεύτρια εταιρία. Επιπλέον, η μείωση οφείλεται σε μείωση του ύψους παραγγελιών του δεύτερου προς το πρώτο στάδιο, η οποία οδηγεί σε μικρότερες παραγγελίες προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.

Για το Πρόβλημα 3.2.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δευτέρου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των περιόδων παραγωγής και παραγγελιών του πρώτου σταδίου, καθώς και σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου. Για αύξηση της τιμής του  $\gamma_2$  από 6000 σε 9000 μονάδες, τα κέρδη του πρώτου σταδίου παραμένουν αμετάβλητα.

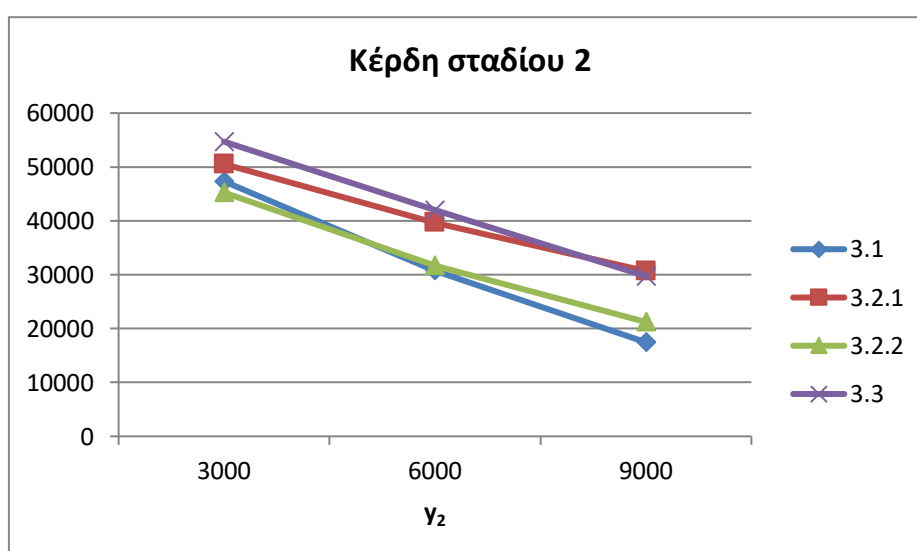
Για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δευτέρου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των περιόδων παραγωγής και παραγγελιών του πρώτου σταδίου, καθώς και σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου, η οποία

αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του πρώτου σταδίου.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του πρώτου σταδίου. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των περιόδων παραγωγής και παραγγελιών του πρώτου σταδίου, καθώς και σε μείωση του ύψους παραγωγής του πρώτου σταδίου.

## Β. Στα κέρδη του δεύτερου σταδίου

Στο Σχήμα 4-51 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  στα κέρδη του δεύτερου σταδίου για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-51: Μεταβολή στο κέρδος του δεύτερου σταδίου λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Για το Πρόβλημα 3.1, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση της τιμής του  $\gamma_2$  από 3000 σε 6000 μονάδες, η μείωση οφείλεται στην αύξηση του κόστους παραγγελιών που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου παρόλο που οι περίοδοι στις οποίες έχουμε παραγγελίες μειώνονται κατά μια. Για αύξηση της τιμής του  $\gamma_2$  από 6000 σε 9000 μονάδες, η μείωση των κερδών οφείλεται σε μείωση των περιόδων παραγωγής και παραγγελιών του δεύτερου σταδίου, καθώς και σε μείωση του ύψους παραγωγής του δεύτερου σταδίου, η οποία αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

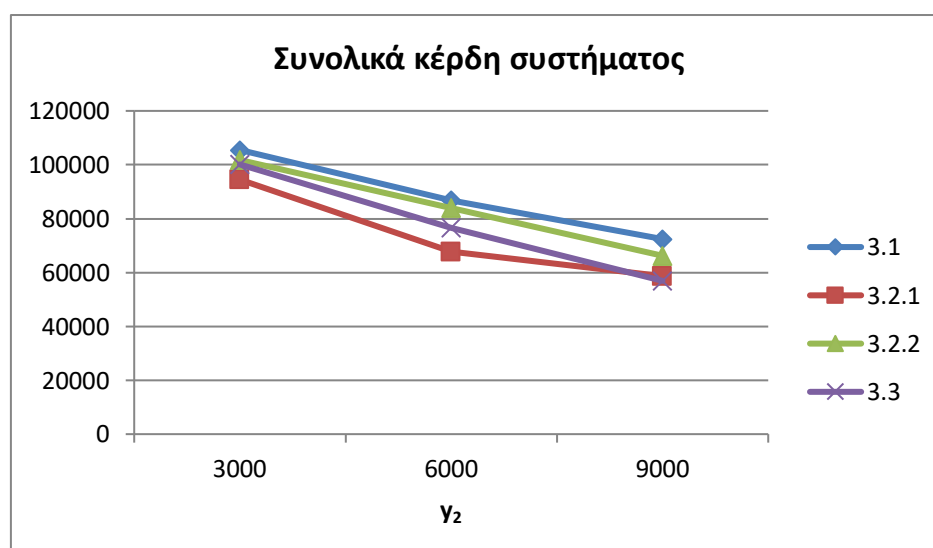
Για το Πρόβλημα 3.2.1 και για το Πρόβλημα 3.2.2, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου

σταδίου, παρόλο που οι περίοδοι στις οποίες υποβάλλει παραγγελίες το πρώτο στάδιο μειώνονται. Η μείωση στα κέρδη οφείλεται στο κόστος που επωμίζεται το δεύτερο στάδιο, λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών.

Τέλος, για το Πρόβλημα 3.3, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου προκαλεί μείωση στα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των περιόδων παραγωγής και παραγγελιών του δεύτερου σταδίου, καθώς και σε μείωση του ύψους παραγωγής του δεύτερου σταδίου. Η μείωση της παραγωγής αντισταθμίζεται με αύξηση των παραγγελιών προς τον υπερβολάβο του δεύτερου σταδίου.

### Γ. Στα συνολικά κέρδη των δύο σταδίων

Στο Σχήμα 4-52 που ακολουθεί αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση που επιφέρει η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  στα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχήμα 4-52: Μεταβολή στο συνολικό κέρδος των δύο σταδίων λόγω της αύξησης του πάγιου κόστους παραγγελιών  $\gamma_2$  για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

Όπως, βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα τα συνολικά κέρδη του συστήματος των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας μειώνονται με αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου. Σε όλες τις εκδοχές του προβλήματος η μείωση των συνολικών κερδών οφείλεται στην μείωση των κερδών τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου.

**Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.42 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	γ <sub>2</sub>	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
		d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
			στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	3000	135	21225	76425	97650	138	21700	71250	92950	3
0.2	3000	147	42263	55725	97988	150	43129	50550	93679	2
0.3	3000	159	63425	35025	98450	159	63425	35025	98450	2
0.4	3000	175	86475	7425	93900	175	86475	7425	93900	3
0.5	3000	187	107683	-13275	94408	187	107683	-13275	94408	3
0.6	3000	196	126900	-28800	98100	196	126900	-28800	98100	2
0.7	3000	0	0	309300	309300	208	147750	-36000	111750	3
0.8	3000	0	0	309300	309300	221	169750	-36000	133750	4
0.9	3000	0	0	309300	309300	233	190575	-36000	154575	3
0.1	6000	147	23125	44850	67975	148	23456	43125	66581	3
0.2	6000	161	46375	20700	67075	161	46375	20700	67075	2
0.3	6000	174	69268	-1725	67543	174	69268	-1725	67543	2
0.4	6000	187	90900	-24100	66800	187	90900	-24100	66800	3
0.5	6000	0	0	298425	298425	201	115775	-36000	79775	3
0.6	6000	0	0	298425	298425	214	138625	-36000	102625	3
0.7	6000	0	0	298425	298425	228	162000	-36000	126000	3
0.8	6000	0	0	298425	298425	241	184767	-36000	148767	3
0.9	6000	0	0	298425	298425	254	207586	-36000	171586	3
0.1	9000	148	23456	34125	57581	148	23456	34125	57581	2

0.2	9000	158	45425	16875	62300	158	45425	16875	62300	3
0.3	9000	174	69268	-10725	58543	174	69268	-10725	58543	5
0.4	9000	188	75300	-34400	40900	188	75300	-34400	40900	2
0.5	9000	0	0	289425	289425	201	115775	-36000	79775	3
0.6	9000	0	0	289425	289425	214	138625	-36000	102625	4
0.7	9000	0	0	289425	289425	228	162000	-36000	126000	3
0.8	9000	0	0	289425	289425	241	184767	-36000	148767	3
0.9	9000	0	0	289425	289425	254	207586	-36000	171586	4

**Πίνακας 4.42:** Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τις διάφορες τιμές του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου.

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Για μικρές τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών ή σε μια τιμή μετά από 2-5 επαναλήψεις, για τα διαφορετικά παραδείγματα του παραπάνω πίνακα.
- Για μεγάλες τιμές του ποσοστού  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-4 επαναλήψεις.
- Όσο το ποσοστό κέρδους του πρώτου σταδίου  $\beta$  αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει η τιμή  $d_2$  που πωλεί τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο
- Όσο αυξάνεται το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$ , τόσο αυξάνονται τα κέρδη του πρώτου σταδίου και μειώνονται τα κέρδη του δεύτερου σταδίου. Το συνολικά κέρδη αρχικά αυξάνονται, στην συνέχεια μειώνονται και στο τέλος αυξάνονται και πάλι.
- Υπάρχει ένα κρίσιμο ποσοστό για το ποσοστό κερδοφορίας του πρώτου σταδίου  $\beta$  (0,7 στο παράδειγμα αναφοράς) πάνω από το οποίο η τιμή  $d_2$  παλινδρομεί μεταξύ μιας πολύ μεγάλης τιμής και του μηδενός. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει σύγκλιση σε μία τιμή ή έστω σε μια περιοχή ισορροπίας, κατά συνέπεια δεν υπάρχει πραγματική λύση.

### Συμπερασματικά:

Από τη μελέτη της επίδρασης της αύξησης των πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών προκύπτουν τα εξής:

- ❑ Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του δεύτερου σταδίου οδηγεί σε χαμηλότερα συνολικά κέρδη για όλα τα μοντέλα εκτός του μοντέλου 3.3 όπου το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων.
- ❑ Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής του ενός σταδίου δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα κέρδη του άλλου σταδίου.
- ❑ Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου επιφέρει μικρές αλλαγές στο ύψος των κερδών του δεύτερου σταδίου. Πιο σημαντικές διαφορές στα κέρδη του δεύτερου σταδίου προκαλεί η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του πρώτου σταδίου στο μοντέλο 3.3, καθώς σε αυτό ηγείται των αποφάσεων το πρώτο στάδιο.
- ❑ Η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών του δεύτερου σταδίου οδηγεί σε μικρότερα συνολικά κέρδη, αλλά επιδρά και σε μεγάλο βαθμό και στα επιμέρους κέρδη και των δύο σταδίων.
- ❑ Συγκριτικά, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών είτε του πρώτου είτε του δεύτερου σταδίου οδηγεί σε χαμηλότερα συνολικά κέρδη σε σχέση με τα κέρδη που προκύπτουν στην περίπτωση που έχουμε αύξηση του πάγιου κόστους παραγωγής των δύο σταδίων. Δηλαδή, η αύξηση του πάγιου κόστους παραγγελιών είναι πιο κρίσιμη, καθώς αυτό είναι πολλαπλάσιο του πάγιου κόστους παραγωγής.

Τέλος, μπορούμε να πούμε ότι η αύξηση των πάγιων κοστών παραγγελιών και παραγωγής οδηγεί σε μικρότερα συνολικά κέρδη σε σχέση με την περίπτωση εισαγωγής θετικών χρόνων υστέρησης μιας ή δύο εβδομάδων που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.1.

#### 4.2.3. Αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας των δύο σταδίων

Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζουμε την επίδραση που επιφέρει στη βέλτιστη λύση η αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα, ορίζουμε για τις παραγωγικές μονάδες των δύο σταδίων άπειρη παραγωγική δυναμικότητα. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στον αριθμό των παραγόμενων προϊόντων και για τα δύο στάδια ανά περίοδο. Στον Πίνακα 4.43 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.



		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	258.750	258.750	247.500	247.500
	Κόστος	182.250	208.500	171.000	169.500
	Κέρδος	76.500	50.250	76.500	78.000
	% Κέρδους	41,97	24,1	44,73	46,01
Στάδιο 2	Έσοδα	450.000	450.000	450.000	450.000
	Κόστος	398.750	395.225	398.900	427.725
	Κέρδος	51.250	54.775	51.100	22.275
	% Κέρδους	12,85	13,85	12,81	5,2
Σύνολο	Έσοδα	708.750	708.750	697.500	697.500
	Κόστος	581.000	603.725	569.900	597.225
	Κέρδος	127.750	105.025	127.600	100.275
	% Κέρδους	21,98	17,39	22,38	16,79
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	2,5832	2,2919	2,1862	4,899
	$D_{1,t}$	2,709	2,7133	2,2955	4,899

**Πίνακας 4.43:** Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με άπειρη παραγωγική δυναμικότητα και για τα δύο στάδια ανά περίοδο.

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής των δύο σταδίων προκαλεί αύξηση στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης τόσο των αρχικών όσο και των ενδιάμεσων προϊόντων. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη δυνατότητα που έχουν πλέον οι μονάδες παραγωγής να καλύψουν οποιαδήποτε ζήτηση ανά περίοδο, καθώς δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στον αριθμό των προϊόντων που μπορούν να παράξουν ανά περίοδο. Η αλλαγή των συντελεστών μεταβλητότητας οφείλεται λοιπόν στην αύξηση του μεγέθους των παρτίδων αλλά και στη μείωση των περιόδων στις οποίες εκτελούν παραγγελίες τα δύο στάδια.
- Η αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας των δύο σταδίων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών κερδών της εφοδιαστικής αλυσίδας για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε μείωση των περιόδων στις οποίες έχουμε παραγωγή και εκτέλεση παραγγελιών για τα δύο στάδια. Κατά συνέπεια, προκύπτει μείωση στα κόστη που επωμίζονται τα δύο στάδια, λόγω μείωσης των αθροιστικών πάγιων κοστών παραγωγής και παραγγελιών που επωμίζεται το κάθε στάδιο.

### Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για άπειρη παραγωγική δυναμικότητα

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για την περίπτωση που έχουμε άπειρη παραγωγική δυναμικότητα, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.44 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	133	20925	84100	105025	133	20925	84100	105025	2
0.2	142	41700	68575	110275	142	41700	68575	110275	3
0.3	154	62400	47875	110275	158	64050	40975	105025	3
0.4	170	84750	20275	105025	170	84750	20275	105025	2
0.5	182	105450	-425	105025	182	105450	-425	105025	2
0.6	194	126150	-21125	105025	194	126150	-21125	105025	2
0.7	201	143475	-33200	110275	201	143475	-33200	110275	4
0.8	0	0	313525	313525	213	164175	-36000	128175	4
0.9	0	0	313525	313525	224	183150	-36000	147150	4

Πίνακας 4.44 :Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με άπειρη παραγωγική δυναμικότητα.

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

- Για τιμές  $\beta = 0,1 - 0,2$  και  $\beta = 0,4 - 0,7$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2-4 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για  $\beta = 0,3$ , η τιμή  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών μετά από 3 επαναλήψεις.
- Για τιμές  $\beta = 0,8 - 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 4 επαναλήψεις.

Συγκριτικά, με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.24 του παραδείγματος αναφοράς, στο πρότυπο με άπειρη παραγωγική δυναμικότητα για τις μονάδες παραγωγής και

των δύο σταδίων επιτυγχάνεται σύγκλιση σε περισσότερα αλλά και σε μεγαλύτερα ποσοστά  $\beta$ , καθώς υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία στη παραγωγή και των δύο σταδίων και αποφεύγονται έτσι κόστη αποθέματος που επηρεάζουν την τιμή που χρεώνει το πρώτο στάδιο τα προϊόντα του στο δεύτερο στάδιο.

#### 4.2.4. Αύξηση της μοναδιαίας τιμής αγοράς των προϊόντων από τους υπεργολάβους των δύο σταδίων

Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζουμε την επίδραση που επιφέρει στη βέλτιστη λύση η αύξηση της τιμής πώλησης των προϊόντων από τους υπεργολάβους των δύο σταδίων. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή  $s_1$  του υπεργολάβου του πρώτου σταδίου αυξάνεται από 170 σε 200 μονάδες, ενώ η τιμή  $s_2$  του υπεργολάβου του δεύτερου σταδίου αυξάνεται από τις 270 σε 300 μονάδες. Στον Πίνακα 4.45 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	258.750	258.750	232.500	236.250
	Κόστος	197.850	219.850	172.975	190.825
	Κέρδος	60.900	38.900	59.525	45.425
	% Κέρδους	30,78	17,69	34,41	23,80
Στάδιο 2	Έσοδα	450.000	450.000	450.000	450.000
	Κόστος	410.700	401.700	412.250	402.050
	Κέρδος	39.300	48.300	37.750	47.950
	% Κέρδους	9,56	12,02	9,15	11,92
Σύνολο	Έσοδα	708.750	708.750	682.500	686.250
	Κόστος	608.550	621.550	585.225	592.875
	Κέρδος	100.200	87.200	97.275	93.375
	% Κέρδους	16,46	14,02	16,62	15,74
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	1,5966	2,0055	1,8528	2,1368
	$D_{1,t}$	2,3352	2,2955	2,3195	2,2852

Πίνακας 4.45:Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με αυξημένα κόστη των υπεργολάβων των δύο σταδίων σε σχέση με τις τιμές του παραδείγματος αναφοράς.

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αύξηση της μοναδιαίας τιμής αγοράς των προϊόντων από τους υπεργολάβους και για τα δύο στάδια έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των συνολικών κερδών της

εφοδιαστικής αλυσίδας για τις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος. Η μείωση αυτή οφείλεται σε αύξηση του μοναδιαίου κόστους που επωμίζεται το κάθε στάδιο για κάθε προϊόν που αγοράζει από τον υπερβολάβο του.

- Οι αλλαγές που προκύπτουν στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών.

### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για αύξηση της τιμής των προϊόντων από τους υπερβολάβους των δύο σταδίων**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για την περίπτωση που έχουμε αύξηση της τιμής αγοράς των προϊόντων από τους υπερβολάβους των δύο σταδίων, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.46 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	145	22825	56925	79750	145	22825	56925	79750	2
0.2	153	44150	43125	87275	158	45558	34500	80058	3
0.3	171	68325	12075	80400	171	68325	12075	80400	2
0.4	184	90950	-10350	80600	184	90950	-10350	80600	2
0.5	197	113300	-32775	80525	197	113300	-32775	80525	2
0.6	204	132050	-44850	87200	204	132050	-44850	87200	3
0.7	217	154275	-67275	87000	223	158575	-77625	80950	3
0.8	0	0	307050	307050	236	181075	-90000	91075	3
0.9	0	0	307050	307050	249	203500	-90000	113500	3

**Πίνακας 4. 46: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με αυξημένη τιμή αγοράς των προϊόντων από τους υπερβολάβους των δύο σταδίων.**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

- Για τιμές  $\beta = 0,1$  και  $\beta = 0,3 - 0,6$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2-3 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για τιμές  $\beta = 0,2$  και  $\beta = 0,7$ , η τιμή  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών μετά από 3 επαναλήψεις.
- Για τιμές  $\beta = 0,8 - 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3 επαναλήψεις.

#### 4.3. Αριθμητικά παραδείγματα για διαφορετικά προφίλ ζήτησης τελικών προϊόντων

Στο παρόν υποκεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση των διαφορετικών εκδοχών του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών, που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3, για διαφορετικές τιμές της ζήτησης των τελικών πελατών. Πιο συγκεκριμένα, διατηρούμε ίδιες τις τιμές των παραμέτρων κόστους, παραγωγικής δυναμικότητας και χρόνων υστέρησης αλλάζοντας κάθε φορά μόνο τη τιμή της τελικής ζήτησης  $D_{3,t}$ . Στη συνέχεια, παραθέτουμε συνοπτικά και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της επίλυσης των παραδειγμάτων. Αναλυτικό υλικό διαγραμμάτων και πινάκων με τα αποτελέσματα της επίλυσης των διαφορετικών αυτών παραδειγμάτων επισυνάπτεται σε ηλεκτρονική μορφή μαζί με την μεταπτυχιακή εργασία.

##### 4.3.1. Εξωγενής τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο

Στο υποκεφάλαιο αυτό παραθέτουμε τα αποτελέσματα επίλυσης των διαφορετικών εκδοχών του προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τα αριθμητικά παράδειγμα, όπου η ζήτηση των τελικών προϊόντων  $D_{3,t}$  ορίζεται σε 50 τεμάχια ανά περίοδο για τον χρονικό ορίζοντα των 24 περιόδων του προγραμματισμού. Οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων είναι ίδιες με αυτές του

Πίνακας 4.1 Πίνακα 4.1 του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς.

Στον Πίνακα 4.47 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	165.000	172.500	157.500	157.500
	Κόστος	122.000	146.000	117.200	126.850
	Κέρδος	43.000	26.500	40.300	30.650
	% Κέρδους	35,24	18,15	34,38	24,16
Στάδιο 2	Έσοδα	300.000	300.000	300.000	300.000
	Κόστος	274.500	270.300	274.100	271.050
	Κέρδος	25.500	29.700	25.900	28.950
	% Κέρδους	9,28	10,98	9,45	10,68
Σύνολο	Έσοδα	465.000	472.500	457.500	457.500
	Κόστος	396.500	416.300	391.300	397.900
	Κέρδος	68.500	56.200	66.200	59.600
	% Κέρδους	17,27	13,49	16,91	14,97
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	2,13184	2,29192	2,12024	2,84594
	$D_{1,t}$	2,8029	2,7133	2,8459	2,7236

Πίνακας 4.47:Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο.

Με βάση τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ☐ Η εκδοχή I του προβλήματος, δηλαδή η εκδοχή της κεντρικής λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το μέγιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως είναι αναμενόμενο.
- ☐ Η εκδοχή II του προβλήματος, δηλαδή η εκδοχή της αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το ελάχιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρόλο που το κέρδος του δεύτερου σταδίου είναι μέγιστο σε αυτή την εκδοχή. Η αύξηση των κερδών του δεύτερου σταδίου δεν είναι όμως σε θέση να αντισταθμίσει την απώλεια των κερδών του πρώτου σταδίου που προκύπτει λόγω της αποκεντρωμένης χρήσης πληροφοριών. Στην εκδοχή αυτή, τα κέρδη του πρώτου σταδίου παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές.
- ☐ Στην εκδοχή III, δηλαδή στην αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2, το δεύτερο στάδιο εμφανίζει τη χειρότερη επίδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές. Τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι σημαντικά μειωμένα στην εκδοχή III (παρόλο που αποφασίζει πρώτο), καθώς αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Κατά συνέπεια, τα κέρδη του πρώτου σταδίου είναι αυξημένα στην

εκδοχή III, καθώς δεν επωμίζεται το κόστος του υπερβολάβου. Στην εκδοχή αυτή ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των ενδιάμεσων προϊόντων έχει τη μικρότερη τιμή, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών προϊόντων έχει τη μέγιστη τιμή.

- Στην εκδοχή IV, παρόλο που το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων εμφανίζει χαμηλότερα κέρδη σε σχέση με την εκδοχή III, όπου τις αποφάσεις τις παίρνει πρώτο το δεύτερο στάδιο. Αυτό συμβαίνει διότι στην εκδοχή III, το δεύτερο στάδιο αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Επιπροσθέτως, στην εκδοχή IV, το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει την πληρωμή του πάγιου κόστους παραγγελίας μεταξύ των δύο σταδίων.

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.47 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η μείωση της τελικής ζήτησης από 75 σε 50 τεμάχια ανά περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των επιμέρους και των συνολικών εσόδων και κοστών, καθώς το ύψος των πωλήσεων και της παραγωγής μικραίνει.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει διαφορετική τελική συνολική ζήτηση.

#### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για εξωγενή ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για την περίπτωση που έχουμε εξωγενή ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.48 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους

και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

- Για τιμές  $\beta = 0,1 - 0,5$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2-3 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για τιμές  $\beta = 0,6 - 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3 επαναλήψεις.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	140	14650	41200	55850	140	14650	41200	55850	2
0.2	153	29650	26250	55900	153	29650	26250	55900	2
0.3	162	43600	15900	59500	162	43600	15900	59500	3
0.4	178	58700	-2500	56200	178	58700	-2500	56200	3
0.5	191	73400	-17450	55950	191	73400	-17450	55950	2
0.6	0	0	202200	202200	204	88100	-24000	64100	3
0.7	0	0	202200	202200	216	102400	-24000	78400	3
0.8	0	0	202200	202200	229	117046	-24000	93046	3
0.9	0	0	202200	202200	242	132100	-24000	108100	3

**Πίνακας 4.48:** Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 50 τεμαχίων ανά περίοδο.

#### 4.3.2. Εξωγενής τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο

Στο υποκεφάλαιο αυτό παραθέτουμε τα αποτελέσματα επίλυσης των διαφορετικών εκδοχών του προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τα αριθμητικό παράδειγμα, όπου η ζήτηση των τελικών προϊόντων  $D_{3,t}$  ορίζεται σε 85 τεμάχια ανά περίοδο για τον χρονικό ορίζοντα των 24 περιόδων του προγραμματισμού. Οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων είναι ίδιες με αυτές του Πίνακα 4.1 του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς. Στον Πίνακα 4.49 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.



		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	293.250	293.250	255.000	255.000
	Κόστος	226.615	239.840	190.715	204.500
	Κέρδος	66.635	53.410	64.285	50.500
	% Κέρδους	29,40	22,27	33,70	24,69
Στάδιο 2	Έσοδα	510.000	510.000	510.000	510.000
	Κόστος	456.125	451.160	457.220	451.600
	Κέρδος	53.875	58.840	52.780	58.400
	% Κέρδους	11,81	13,04	11,54	12,93
Σύνολο	Έσοδα	803.250	803.250	765.000	765.000
	Κόστος	682.740	691.000	647.935	656.100
	Κέρδος	120.510	112.250	117.065	108.900
	% Κέρδους	17,65	16,24	18,06	16,59
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	1,49637	2,0055	1,80681	2,01723
	$D_{1,t}$	2,3022	2,2919	2,3262	2,2983

Πίνακας 4.49: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο.

Με βάση τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ☐ **Η εκδοχή I του προβλήματος**, δηλαδή η εκδοχή της κεντρικής λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το μέγιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως είναι αναμενόμενο. Σε αυτήν την εκδοχή παρουσιάζεται η μικρότερη μεταβλητότητα της ζήτησης ενδιάμεσων προϊόντων.
- ☐ **Η εκδοχή II του προβλήματος**, δηλαδή η εκδοχή της αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το ελάχιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρόλο που το κέρδος του δεύτερου σταδίου είναι μέγιστο σε αυτή την εκδοχή. Η αύξηση των κερδών του δεύτερου σταδίου δεν είναι όμως σε θέση να αντισταθμίσει την απώλεια των κερδών του πρώτου σταδίου που προκύπτει λόγω της αποκεντρωμένης χρήσης πληροφοριών. Σε αυτή την εκδοχή παρουσιάζεται η μικρότερη μεταβλητότητα της ζήτησης αρχικών προϊόντων.
- ☐ **Στην εκδοχή III**, δηλαδή στην αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2, το δεύτερο στάδιο εμφανίζει τη

χειρότερη επίδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές. Τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι σημαντικά μειωμένα στην εκδοχή III (παρόλο που αποφασίζει πρώτο), καθώς αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Κατά συνέπεια, τα κέρδη του πρώτου σταδίου είναι αυξημένα στην εκδοχή III, καθώς δεν επωμίζεται το κόστος του υπερβολάβου. Σε αυτήν την εκδοχή παρουσιάζεται η μεγαλύτερη μεταβλητότητα της ζήτησης αρχικών προϊόντων.

- **Στην εκδοχή IV**, παρόλο που το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων εμφανίζει χαμηλότερα κέρδη σε σχέση με την εκδοχή III, όπου τις αποφάσεις τις παίρνει πρώτο το δεύτερο στάδιο. Αυτό συμβαίνει διότι στην εκδοχή III, το δεύτερο στάδιο αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Επιπροσθέτως, στην εκδοχή IV, το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει την πληρωμή του πάγιου κόστους παραγγελίας μεταξύ των δύο σταδίων. Σε αυτήν την εκδοχή παρουσιάζεται η μεγαλύτερη μεταβλητότητα της ζήτησης ενδιάμεσων προϊόντων.

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.49 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αύξηση της τελικής ζήτησης από 75 σε 85 τεμάχια ανά περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε αύξηση των επιμέρους και των συνολικών εσόδων και κοστών, καθώς το ύψος των πωλήσεων και της παραγωγής μεγαλώνει.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει διαφορετική τελική συνολική ζήτηση.

#### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για εξωγενή ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για την περίπτωση που έχουμε εξωγενή ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος

αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.50 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	135	24085	88165	112250	138	24565	82300	106865	3
0.2	151	49345	56885	106230	151	49345	56885	106230	2
0.3	163	73545	33425	106970	163	73545	33425	106970	2
0.4	172	96220	15830	112050	176	98520	8010	106530	3
0.5	188	122580	-15450	107130	188	122580	-15450	107130	2
0.6	0	0	352090	352090	205	146200	-40800	105400	6
0.7	0	0	352090	352090	210	169710	-40800	128910	4
0.8	0	0	352090	352090	222	193070	-40800	152270	4
0.9	0	0	352090	352090	235	217835	-40800	177035	4

Πίνακας 4.50: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 85 τεμαχίων ανά περίοδο.

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

- Για τιμές  $\beta = 0,1$  και  $\beta = 0,4$ , η τιμή  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών μετά από 3 επαναλήψεις.
- Για τιμές  $\beta = 0,2 - 0,3$  και  $\beta = 0,5$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για τιμές  $\beta = 0,6 - 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 4-6 επαναλήψεις.

#### 4.3.3. Εξωγενής τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο

Στο υποκεφάλαιο αυτό παραθέτουμε τα αποτελέσματα επίλυσης των διαφορετικών εκδοχών του προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τα αριθμητικό παράδειγμα, όπου η ζήτηση των τελικών προϊόντων  $D_{3,t}$  ορίζεται σε 100 τεμάχια ανά περίοδο για τον χρονικό ορίζοντα των 24 περιόδων του προγραμματισμού. Οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων είναι ίδιες με αυτές του Πίνακα 4.1 του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς. Στον Πίνακα 4.51 που ακολουθεί συνοψίζονται οι

βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	345.000	345.000	285.000	285.000
	Κόστος	272.800	287.600	212.600	227.500
	Κέρδος	72.200	57.400	72.400	57.500
	% Κέρδους	26,46	19,95	34,05	25,27
Στάδιο 2	Έσοδα	600.000	600.000	600.000	600.000
	Κόστος	529.100	526.100	534.400	532.600
	Κέρδος	70.900	73.900	65.600	67.400
	% Κέρδους	13,40	14,04	12,27	12,65
Σύνολο	Έσοδα	945.000	945.000	885.000	885.000
	Κόστος	801.900	813.700	747.000	760.100
	Κέρδος	143.100	131.300	138.000	124.900
	% Κέρδους	17,84	16,13	18,47	16,43
CV	$D_{3,t}$	0	0	0	0
	$D_{2,t}$	1,4589	2,0055	1,78042	2,00517
	$D_{1,t}$	1,9913	2,301	2,0052	2,2955

Πίνακας 4.51: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για το αριθμητικό παράδειγμα με τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο.

Με βάση τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ❑ **Η εκδοχή I του προβλήματος**, δηλαδή η εκδοχή της κεντρικής λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει το μέγιστο συνολικό κέρδος για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως είναι αναμενόμενο. Σε αυτή την εκδοχή παρουσιάζεται η μικρότερη μεταβλητότητα της ζήτησης αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων.
- ❑ **Η εκδοχή II του προβλήματος**, δηλαδή η εκδοχή της αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων, παρουσιάζει μειωμένα συνολικά κέρδη για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρόλο που το κέρδος του δεύτερου σταδίου είναι μέγιστο σε αυτή την εκδοχή. Η αύξηση των κερδών του δεύτερου σταδίου δεν είναι όμως σε θέση να αντισταθμίσει την απώλεια των κερδών του πρώτου σταδίου που προκύπτει λόγω της αποκεντρωμένης χρήσης πληροφοριών. Στην εκδοχή αυτή, τα κέρδη του πρώτου σταδίου παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές. Σε αυτή την εκδοχή

παρουσιάζεται η μεγαλύτερη μεταβλητότητα της ζήτησης αρχικών και των ενδιάμεσων προϊόντων.

- **Στην εκδοχή III**, δηλαδή στην αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων και κεντρική χρήση πληροφοριών όπου ηγείται το στάδιο 2, το δεύτερο στάδιο εμφανίζει τη χειρότερη επίδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδοχές. Τα κέρδη του δεύτερου σταδίου είναι σημαντικά μειωμένα στην εκδοχή III (παρόλο που αποφασίζει πρώτο), καθώς αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Κατά συνέπεια, τα κέρδη του πρώτου σταδίου είναι μέγιστα στην εκδοχή III, καθώς το πρώτο στάδιο δεν επωμίζεται το κόστος του υπερβολάβου.
- **Στην εκδοχή IV**, παρόλο που το πρώτο στάδιο ηγείται των αποφάσεων εμφανίζει χαμηλότερα κέρδη σε σχέση με την εκδοχή III, όπου τις αποφάσεις τις παίρνει πρώτο το δεύτερο στάδιο. Αυτό συμβαίνει διότι στην εκδοχή III, το δεύτερο στάδιο αναλαμβάνει το επιπλέον κόστος του υπερβολάβου του πρώτου σταδίου,  $S_1$ . Επιπροσθέτως, στην εκδοχή IV, το πρώτο στάδιο αναλαμβάνει την πληρωμή του πάγιου κόστους παραγγελίας μεταξύ των δύο σταδίων.

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.51 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η αύξηση της τελικής ζήτησης από 75 σε 100 τεμάχια ανά περίοδο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε αύξηση των επιμέρους και των συνολικών εσόδων και κοστών, καθώς το ύψος των πωλήσεων και της παραγωγής μεγαλώνει.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει διαφορετική τελική συνολική ζήτηση.

#### **Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για εξωγενή ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο**

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για την περίπτωση που έχουμε εξωγενή ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος

αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.52 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
	d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
0.1	138	28856	101500	130356	138	28856	101500	130356	2
0.2	151	58500	71600	130100	151	58500	71600	130100	2
0.3	164	88800	41700	130500	164	88800	41700	130500	3
0.4	176	116200	14100	130300	176	116200	14100	130300	2
0.5	188	144500	-13500	131000	189	145100	-15800	129300	3
0.6	201	174000	-43400	130600	201	174000	-43400	130600	2
0.7	0	0	418900	418900	214	202900	-48000	154900	4
0.8	0	0	418900	418900	226	231100	-48000	183100	3
0.9	0	0	418900	418900	239	260388	-48000	212388	4

Πίνακας 4.52: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για το παράδειγμα με εξωγενή τελική ζήτηση 100 τεμαχίων ανά περίοδο.

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

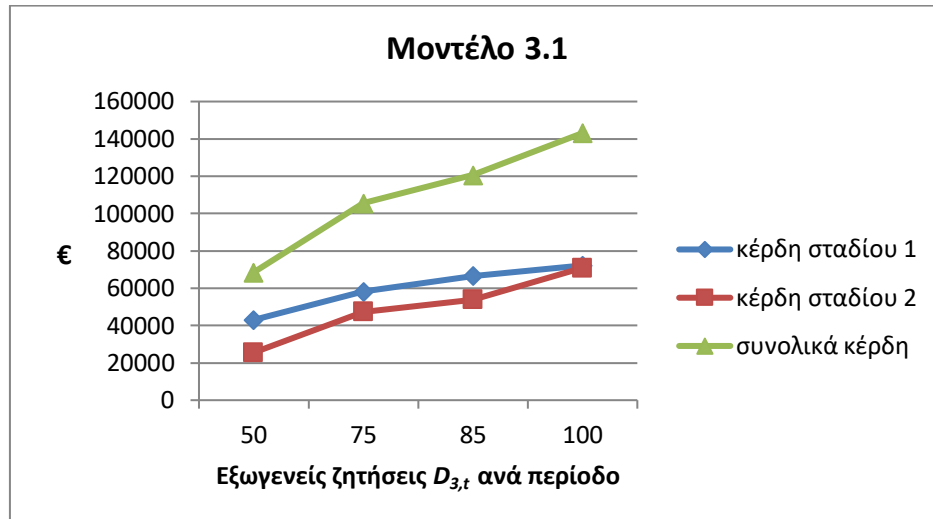
- Για τιμές  $\beta = 0,1- 0,4$  και  $\beta = 0,6$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 2-3 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  και για τα δύο στάδια.
- Για  $\beta = 0,5$ , η τιμή  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών μετά από 3 επαναλήψεις.
- Για τιμές  $\beta = 0,7- 0,9$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-4 επαναλήψεις.

#### 4.3.4. Αντιπαράβολή των προτύπων για διαφορετικές τιμές της εξωγενής ζήτησης

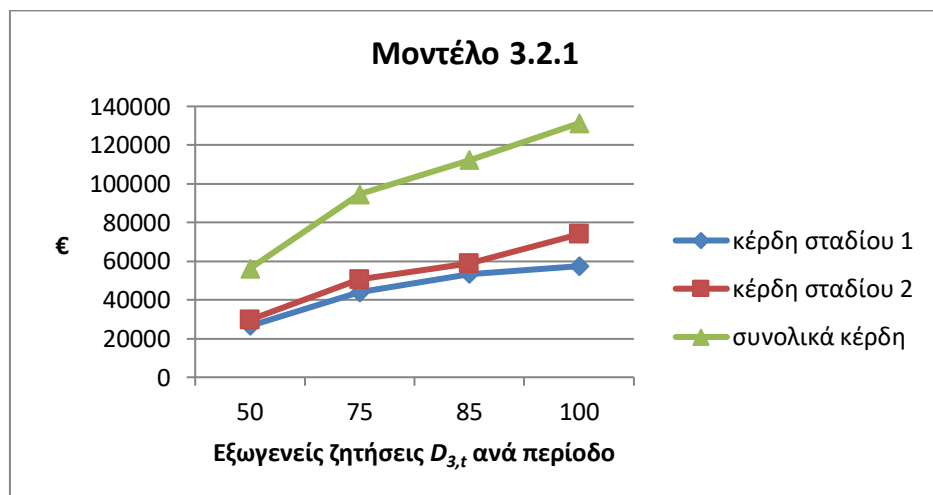
Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε σχηματικά τη μεταβολή του επιμέρους κέρδους των δύο σταδίων αλλά και του συνολικού κέρδους που επιφέρει η αλλαγή της εξωγενής ζήτησης στις διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών.

Στα σχήματα που ακολουθούν αποτυπώνονται γραφικά τα κέρδη των δύο σταδίων και τα συνολικά κέρδη της εφοδιαστικής αλυσίδας για τις διαφορετικές εκδοχές του

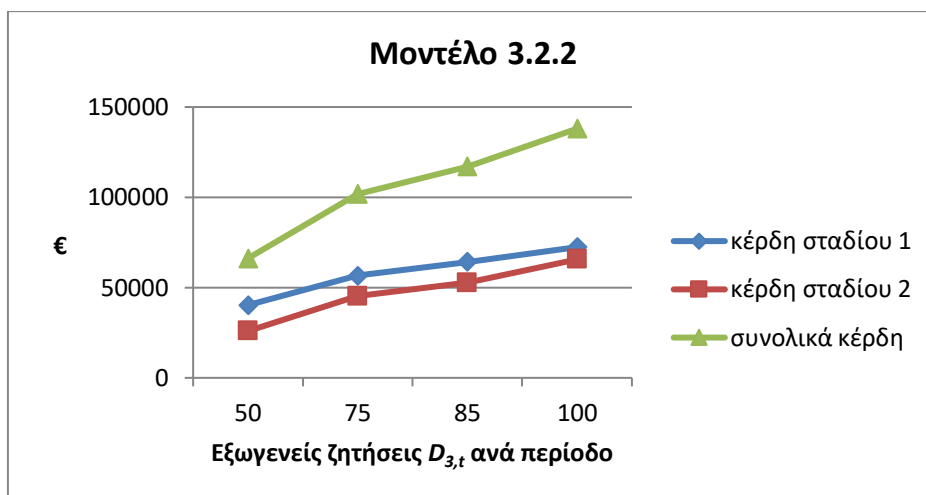
προβλήματος. Σε όλες τις παρακάτω εκδοχές, η αύξηση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών οφείλεται σε αύξηση του ύψους της παραγωγής τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου σταδίου και κατ' επέκταση των πωλήσεων κάθε σταδίου, με σκοπό να καλυφθούν οι αυξήσεις της εξωγενούς ζήτησης σε τελικά προϊόντα.



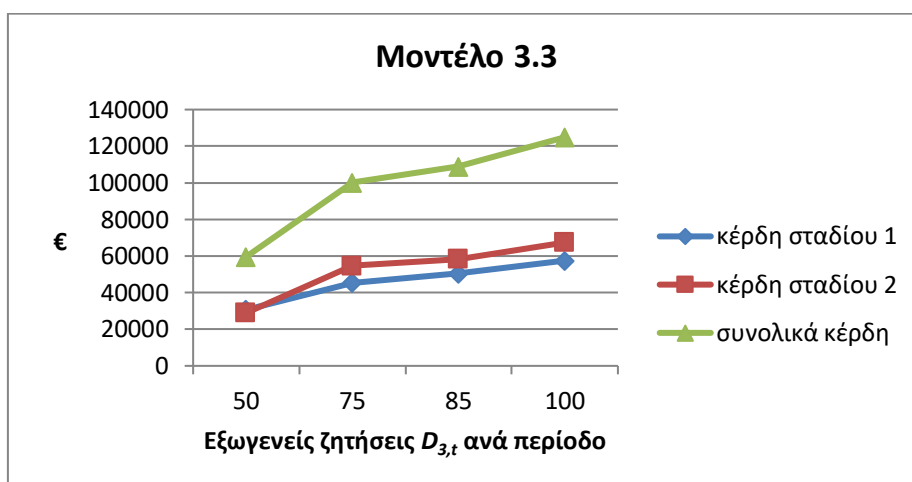
Σχήμα 4-53: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.1.



Σχήμα 4-54: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.2.1.



Σχήμα 4-55: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.2.2.

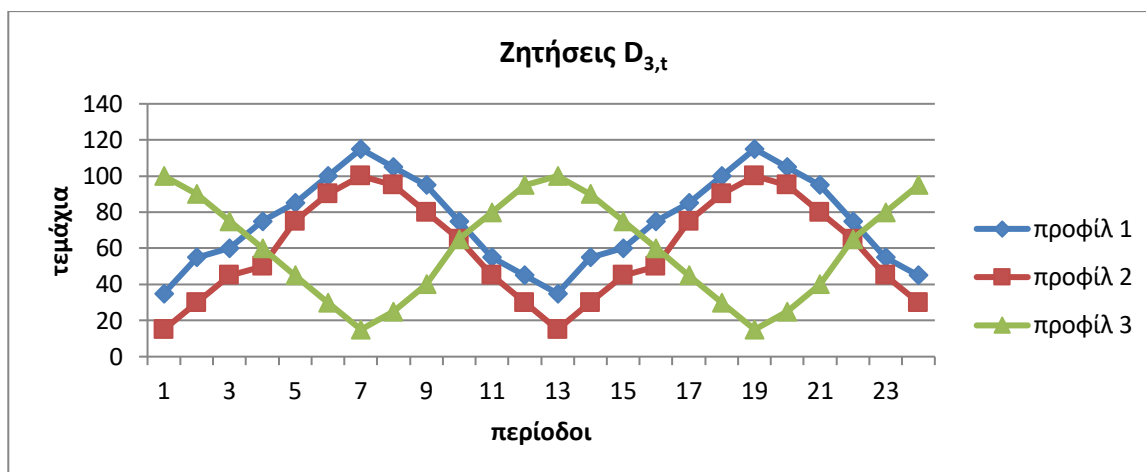


Σχήμα 4-56: Μεταβολή στο επιμέρους κέρδος των 2 σταδίων αλλά και στο συνολικό κέρδος για τις διαφορετικές εξωγενείς ζητήσεις για το Πρόβλημα 3.3.

#### 4.3.5. Μη σταθερή εξωγενής τελική ζήτηση προϊόντων

Στο παρόν υποκεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση των διαφορετικών εκδοχών του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών, που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3, για διαφορετικές τιμές της ζήτησης των τελικών πελατών. Πιο συγκεκριμένα, διατηρούμε ίδιες τις τιμές των παραμέτρων κόστους, παραγωγικής δυναμικότητας και χρόνων υστέρησης αλλάζοντας κάθε φορά μόνο το προφίλ της τελικής ζήτησης, η οποία εδώ όμως δεν είναι σταθερή ανά περίοδο, όπως στα υποκεφάλαια 4.3.1 - 4.3.3. Στη συνέχεια, παραθέτουμε συνοπτικά και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της επίλυσης των παραδειγμάτων. Στο Σχήμα 4- 57 που ακολουθεί αποτυπώνονται γραφικά τα τρία διαφορετικά προφίλ ζήτησης που θα εξετάσουμε στο παρόν υποκεφάλαιο.





Σχήμα 4- 57: Γραφική απεικόνιση των ζητήσεων των τριών διαφορετικών προφίλ ζήτησης.

#### ▪ Προφίλ εξωγενής ζήτησης 1

Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούμε εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 75 τεμάχια ανά περίοδο. Στον Πίνακα 4.53 καταγράφονται οι τιμές των τελικών ζητήσεων ανά περίοδο.

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{3,t}$	35	55	60	75	85	100	115	105	95	75	55	45
$t$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$D_{3,t}$	35	55	60	75	85	100	115	105	95	75	55	45

Πίνακας 4.53: Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 1 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 75 τεμαχίων ανά περίοδο.

Στον Πίνακα 4.54 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	264.750	264.750	235.500	231.750
	Κόστος	202.320	221.910	175.670	185.575
	Κέρδος	62.430	42.840	59.830	46.175
	% Κέρδους	30,85	19,3	33,75	24,88
Στάδιο 2	Έσοδα	450.000	450.000	450.000	450.000
	Κόστος	402.055	396.315	401.940	396.455
	Κέρδος	47.945	53.685	48.060	53.545
	% Κέρδους	11,92	13,54	11,95	13,5
Σύνολο	Έσοδα	714.750	714.750	685.500	681.750
	Κόστος	604.375	618.225	577.610	582.030

	<b>Κέρδος</b>	110.375	96.525	107.890	99.720
	<b>% Κέρδους</b>	18,26	15,61	18,67	17,13
<b>CV</b>	$D_{3,t}$	0,33246	0,33246	0,33246	0,33246
	$D_{2,t}$	1,5205	2,2984	1,82636	2,3748
	$D_{1,t}$	2,2933	2,7154	2,31876	2,7053

**Πίνακας 4.54:** Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 75 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 1).

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.54 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι διαφορές στα επιμέρους και στα συνολικά έσοδα και έξοδα οφείλονται σε διαφορές στις περιόδους παραγωγής και παραγγελιών και σε διαφορές στο ύψος παραγγελιών, καθώς η ζήτηση δεν είναι ίδια σε όλες της περιόδους παρόλο που η κατανομή της ζήτησης έχει μέση τιμή 75 τεμάχια ανά περίοδο. Τα αυξημένα κέρδη προκύπτουν από την εξοικονόμηση των κοστών που αντιστοιχούν στις υπερβολικές, καθώς η ζήτηση της πρώτης περιόδου είναι 35 τεμάχια, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι παραγγελίες των πρώτων περιόδων προς τους υπερβολάβους των δύο σταδίων, οι οποίες δεν μπορούν να καλυφθούν διαφορετικά.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των τελικών προϊόντων για το προφίλ ζήτησης 1 είναι διάφορος του μηδενός, καθώς η ζήτηση των τελικών προϊόντων σε κάθε περίοδο του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού είναι διαφορετική. Αντίθετα, ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των τελικών προϊόντων για το παράδειγμα αναφοράς με σταθερή ζήτηση 75 τεμαχίων ανά περίοδο είναι μηδέν, καθώς η ζήτηση είναι ίδια σε όλες τις περιόδους.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο. Αυτό συμβαίνει, παρόλο που η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει ίδια τελική συνολική ζήτηση, καθώς η ζήτηση δεν είναι ίδια σε όλες τις περιόδους.

## ▪ Προφίλ εξωγενής ζήτησης 2

Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούμε εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο. Στον Πίνακα 4.55 καταγράφονται οι τιμές των τελικών ζητήσεων ανά περίοδο.

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{3,t}$	15	30	45	50	75	90	100	95	80	65	45	30
$t$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$D_{3,t}$	15	30	45	50	75	90	100	95	80	65	45	30

Πίνακας 4.55: Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 2 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 60 τεμαχίων ανά περίοδο.

Στον Πίνακα 4.56 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	209.250	213.750	198.750	200.250
	Κόστος	154.700	177.080	147.950	161.590
	Κέρδος	54.550	36.670	50.800	38.660
	% Κέρδους	35,26	20,7	34,33	23,92
Στάδιο 2	Έσοδα	360.000	360.000	360.000	360.000
	Κόστος	323.850	318.460	322.245	314.555
	Κέρδος	36150	41.540	37.755	45.445
	% Κέρδους	11,16	13,04	11,71	14,44
Σύνολο	Έσοδα	569.250	573.750	558.750	560.250
	Κόστος	478.550	495.540	470.195	476.145
	Κέρδος	90.700	78.210	88.555	84.105
	% Κέρδους	18,95	15,78	18,83	17,66
CV	$D_{3,t}$	0,45973	0,45973	0,45973	0,45973
	$D_{2,t}$	1,9581	2,3472	2,076	2,4637
	$D_{1,t}$	2,3108	2,7484	2,3188	2,716

Πίνακας 4.56: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 2).

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.56 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η μείωση της συνολικής τελικής ζήτησης από 1800 σε 1440 τεμάχια έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών για τα

δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των επιμέρους και των συνολικών εσόδων και κοστών, καθώς το ύψος των πωλήσεων και της παραγωγής μικραίνει.

- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει διαφορετική τελική συνολική ζήτηση.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των τελικών προϊόντων για το προφίλ ζήτησης 2 είναι διάφορος του μηδενός, καθώς η ζήτηση των τελικών προϊόντων σε κάθε περίοδο του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού είναι διαφορετική. Αντίθετα, ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των τελικών προϊόντων για το παράδειγμα αναφοράς με σταθερή ζήτηση 75 τεμαχίων ανά περίοδο είναι μηδέν, καθώς η ζήτηση είναι ίδια σε όλες τις περιόδους.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς έχουμε διαφορετική συνολική τελική ζήτηση.

### ▪ Προφίλ εξωγενής ζήτησης 3

Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιούμε εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο. Στον Πίνακα 4.57 καταγράφονται οι τιμές των τελικών ζητήσεων ανά περίοδο.

$t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{3,t}$	100	90	75	60	45	30	15	25	40	65	80	95
$t$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$D_{3,t}$	100	90	75	60	45	30	15	25	40	65	80	95

Πίνακας 4.57: Εξωγενείς ζητήσεις για το προφίλ 3 με μέση τιμή τελικής ζήτησης 60 τεμαχίων ανά περίοδο.

Στον Πίνακα 4.58 που ακολουθεί συνοψίζονται οι βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης για τις τέσσερις εκδοχές.

		Εκδοχή προβλήματος			
		I	II	III	IV
Στάδιο 1	Έσοδα	201.000	201.000	176.250	176.250
	Κόστος	154.470	170.560	131.830	141.225

	Κέρδος	46.530	30.440	44.420	35.025
	% Κέρδους	30,12	17,84	33,69	24,8
Στάδιο 2	Έσοδα	360.000	360.000	360.000	360.000
	Κόστος	329.860	323.110	328.395	328.720
	Κέρδος	30.140	36.890	31.065	31.280
	% Κέρδους	9,13	11,41	9,45	9,51
Σύνολο	Έσοδα	561.000	561.000	536.250	536.250
	Κόστος	484.330	493.670	460.225	466.945
	Κέρδος	76.670	67.330	76.025	66.305
	% Κέρδους	15,83	13,63	16,51	14,19
CV	$D_{3,t}$	0,47012	0,47012	0,47012	0,47012
	$D_{2,t}$	1,867	2,3358	2,1565	2,8826
	$D_{1,t}$	2,8596	2,737	2,7827	2,7041

Πίνακας 4.58: Βέλτιστες τιμές των συνολικών εσόδων και κοστών και οι συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών για τις τέσσερις εκδοχές του Πίνακα 4.22, για εξωγενή τελική ζήτηση που έχει κατανομή με μέση τιμή 60 τεμάχια ανά περίοδο (προφίλ 3).

Από την σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.58 με τα αποτελέσματα του παραδείγματος αναφοράς που καταγράφονται στον Πίνακα 4.23 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η μείωση της συνολικής τελικής ζήτησης από 1800 σε 1440 τεμάχια έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των επιμέρους αλλά και των συνολικών κερδών για τα δύο στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μείωση αυτή οφείλεται σε μείωση των επιμέρους και των συνολικών εσόδων και κοστών, καθώς το ύψος των πωλήσεων και της παραγωγής μικραίνει.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται να ικανοποιήσει διαφορετική τελική συνολική ζήτηση.
- Ο συντελεστής μεταβλητότητας της ζήτησης των τελικών προϊόντων για το προφίλ ζήτησης 3 είναι διάφορος του μηδενός, καθώς η ζήτηση των τελικών προϊόντων σε κάθε περίοδο του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού είναι διαφορετική.
- Οι διαφορές στους συντελεστές μεταβλητότητας της ζήτησης των αρχικών και των τελικών προϊόντων οφείλονται σε αλλαγές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια σε αλλαγές του αριθμού περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και του μεγέθους των παρτίδων των παραγγελιών, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς έχουμε διαφορετική συνολική τελική ζήτηση.

Τέλος, συγκρίνοντας τα προφίλ 2 και 3 των τελικών ζητήσεων που έχουν την ίδια μέση ζήτηση (60 τεμάχια ανά περίοδο), τα αποτελέσματα των οποίων καταγράφονται στους Πίνακες 4.56 και 4.58 αντίστοιχα, έχουμε τα εξής:

- Για τα δύο αυτά προφίλ εντοπίζονται διαφορές στο ύψος παραγωγής των δύο σταδίων και κατά συνέπεια διαφορές στον αριθμό των περιόδων στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες αλλά και στο μέγεθος των παρτίδων των παραγγελιών.
- Παρόλο που τα προφίλ των ζητήσεων έχουν την ίδια μέση τιμή ζήτησης τελικών προϊόντων, το προφίλ 2 παρουσιάζει μεγαλύτερη κερδοφορία. Οικονομικά οφέλη για το προφίλ προκύπτουν από την εξοικονόμηση υπερβολικών κοστών της πρώτης περιόδου και για τα δύο στάδια, καθώς η ζήτηση της πρώτης περιόδου είναι 15 τεμάχια σε αντίθεση με τη ζήτηση της πρώτης περιόδου του προφίλ 3 που είναι 100 τεμάχια.

#### Αποτελέσματα του Προβλήματος 3.4 για τα διαφορετικά προφίλ ζήτησης

Στο σημείο αυτό, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, όπως παρουσιάσθηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, για τα διαφορετικά προφίλ ζήτησης, ύστερα από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου. Αρχικά, για κάθε ποσοστό κέρδους, όπως και στο παράδειγμα αναφοράς, θεωρούμε ότι η τιμή πώλησης των προϊόντων του πρώτου σταδίου στο δεύτερο στάδιο είναι ίση με την τιμή του αριθμητικού παραδείγματος αναφοράς, δηλαδή  $d_2 = 150$  €. Στον Πίνακα 4.59 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές ισορροπίας  $d_2$  των δύο τελευταίων επαναλήψεων του επαναληπτικού αλγορίθμου για τις διαφορετικές τιμές του ποσοστού κέρδους  $\beta$  και τα αντίστοιχα επιμέρους και συνολικά κέρδη του συστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας των δύο σταδίων. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο αριθμός των επαναλήψεων μέχρι την σύγκλιση.

D	β	τιμή 1				τιμή 2				Αριθμός Επαναλήψεων
		d <sub>2</sub>	κέρδη			d <sub>2</sub>	κέρδη			
			στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά		στάδιο 1	στάδιο 2	συνολικά	
prof 1	0.1	139	22345	73100	95445	139	22345	73100	95445	2
prof 1	0.2	151	44435	51920	96355	151	44435	51920	96355	2
prof 1	0.3	164	66825	28975	95800	164	66825	28975	95800	2
prof 1	0.4	176	88520	7795	96315	176	88520	7795	96315	3
prof 1	0.5	189	110880	-15085	95795	189	110880	-15085	95795	2
prof 1	0.6	191	109950	-18605	91345	201	132700	-34280	98420	6
prof 1	0.7	0	0	318435	318435	214	155580	-36000	119580	3

prof 1	0.8	0	0	318435	318435	227	178225	-36000	142225	3
prof 1	0.9	0	0	318435	318435	239	199920	-36000	163920	3
prof 2	0.1	137	17870	60065	77935	137	17870	60065	77935	2
prof 2	0.2	150	35847	41540	77387	150	35847	41540	77387	1
prof 2	0.3	162	53770	24440	78210	162	53770	24440	78210	2
prof 2	0.4	174	70870	7340	78210	174	70870	7340	78210	2
prof 2	0.5	187	87890	-11180	76710	187	87890	-11180	76710	2
prof 2	0.6	188	67175	-12590	54585	199	106495	-26050	80445	5
prof 2	0.7	0	0	255290	255290	212	125020	-28800	96220	3
prof 2	0.8	0	0	255290	255290	224	141920	-28800	113120	3
prof 2	0.9	0	0	255290	255290	237	160045	-28800	131245	3
prof 3	0.1	141	17352	48950	66302	141	17352	48950	66302	2
prof 3	0.2	153	34360	32855	67215	155	34860	30190	65050	3
prof 3	0.3	166	51400	15450	66850	166	51400	15450	66850	2
prof 3	0.4	179	68900	-1970	66930	179	68900	-1970	66930	2
prof 3	0.5	189	79500	-15350	64150	191	82767	-17970	64797	3
prof 3	0.6	0	0	237890	237890	204	102620	-28800	73820	3
prof 3	0.7	0	0	237890	237890	217	119738	-28800	90938	3
prof 3	0.8	0	0	237890	237890	230	137120	-28800	108320	3
prof 3	0.9	0	0	237890	237890	242	153720	-28800	124920	3

**Πίνακας 4.59: Τιμές σύγκλισης του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής και παραγγελιών με αποκεντρωμένη παράλληλη λήψη αποφάσεων, για τα παραδείγματα με μη σταθερή εξωγενή.**

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές του ποσοστού  $\beta$  και για τα τρία προφίλ ζήτησης, οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη σταθεροποιούνται μετά από 1-3 επαναλήψεις και επιτυγχάνεται σύγκλιση σε μια τιμή  $d_2$  ή έστω σε έναν κύκλο δύο κοντινών τιμών και για τα δύο στάδια. Για μεγαλύτερες τιμές  $\beta$ , οι τιμές  $d_2$  και τα αντίστοιχα κόστη και για τα τρία προφίλ ζήτησης συγκλίνουν σε έναν κύκλο δύο τιμών, μια εκ των οποίων είναι μηδέν, μετά από 3-6 επαναλήψεις.

## Κεφάλαιο 5 Επίλογος

---

Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίζουμε τα βασικά σημεία της μεταπτυχιακής εργασίας, ενώ παράλληλα εξάγουμε τα συμπεράσματα που σχετίζονται με την συμβολή της εργασίας μας στον αντίστοιχο χώρο, τις λύσεις που αυτή προσφέρει, τις απαιτήσεις που αυτή ικανοποιεί, καθώς τις εναπομείναντες προς υλοποίηση εργασίες και τυχόν μελλοντικές επεκτάσεις.

### 5.1. Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αντιμετωπίσαμε, μοντελοποιήσαμε και επιλύσαμε το πρόβλημα του προγραμματισμού της παραγωγής στα πλαίσια μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Αρχικά αναζητήσαμε και εντοπίσαμε τις βασικότερες βιβλιογραφικές αναφορές που σχετίζονται με τον προγραμματισμό της παραγωγής και της επιλογής μεγέθους παρτίδας σε μια εφοδιαστική αλυσίδα. Κατόπιν, προχωρήσαμε στη μοντελοποίηση του προβλήματος για την εφοδιαστική αλυσίδα των δύο σταδίων παραγωγής που υιοθετήσαμε, τα οποία βρίσκονται διαδοχικά σε σειρά.

Πιο συγκεκριμένα, αναπτύξαμε διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα βελτιστοποίησης για τις διαφορετικές εκδοχές του προγραμματισμού της παραγωγής και των παραγγελιών αυτής της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα μοντέλα που αναπτύξαμε διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το είδος της συνεργασίας μεταξύ των δύο σταδίων, δηλαδή μεταξύ του τρόπου λήψης των αποφάσεων, οι οποίες λαμβάνονται είτε συγκεντρωτικά είτε αποκεντρωμένα.

Εν συνεχεία, στήσαμε τους κώδικες για τα διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα και προχωρήσαμε στην επίλυσή τους. Η επίλυση των μοντέλων έγινε μέσω του



λογισμικού βελτιστοποίησης προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού Cplex, υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Από την επίλυση κάθε μοντέλου προκύπτει ένα πρόγραμμα παραγωγής και παραγγελιών για κάθε στάδιο, το οποίο καθορίζει το ύψος παραγωγής και παραγγελιών, τις παραγγελίες από τον υπερβολάβο, τις περιόδους στις οποίες έχουμε παραγωγή, τις περιόδους στις οποίες εκτελούνται παραγγελίες, τα συνεπαγόμενα επίπεδα των αποθεμάτων πρώτων υλών και τελικών προϊόντων, καθώς και τα συνεπαγόμενα κόστη. Στόχος της επίλυσης είναι η κάλυψη της εξωγενούς τελικής ζήτησης των πελατών, καθώς δεν επιτρέπονται οι ελλείψεις, όπως επίσης και η επίτευξη μέγιστης δυνατής κερδοφορίας για το σύστημα των δύο σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Έτσι, με την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αντιμετωπίσαμε και επιλύσαμε ένα υπαρκτό πρόβλημα που σχετίζεται με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και πιο συγκεκριμένα με την παραγωγή και τη διακίνηση προϊόντων κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Συμπερασματικά, από την εργασία αυτή καταδεικνύεται η βελτιστότητα του συγκεντρωτικού τρόπου λήψης αποφάσεων όπως αυτός περιγράφεται, καθώς και το φαινόμενο του μαστιγίου, το οποίο εντείνεται στην αποκεντρωμένη πολιτική.

## **5.2. Μελλοντικές Επεκτάσεις**

Η συγκεκριμένη ενότητα περιλαμβάνει ορισμένες ιδέες για την πραγματοποίηση των σημαντικότερων επεκτάσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως χρήσιμες και θα μπορούσαν να στηριχτούν σε αυτή τη μεταπτυχιακή εργασία.

Στα πλαίσια μιας μελλοντικής επέκτασης θα μπορούσε να εξεταστεί η εφαρμογή του βασικού προτύπου για την παραγωγή και τη διακίνηση όχι μόνο ενός τύπου αλλά πολλών διαφορετικών τύπων προϊόντων κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Μια ακόμη μελλοντική προέκταση θα μπορούσε να εξετάσει την βελτιστοποίηση του συστήματος σε περίπτωση ύπαρξης αβεβαιότητας στην εξωγενή ζήτηση των πελατών σε τελικά προϊόντα. Οι περιορισμοί θα πρέπει να διαμορφωθούν με βάση τα νέα δεδομένα της ζήτησης ενώ μπορεί να υπάρχει η ανάγκη εισαγωγής επιπλέον περιορισμών για να καλύψουν τις ανάγκες του συγκεκριμένου προβλήματος.

Οι προηγούμενες προεκτάσεις συνιστούν μόνο κάποιες από τις γόνιμες σκέψεις που φιλοδοξούν να επιτύχουν την ωφέλιμη επέκταση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Αυτό όμως, δε σημαίνει ότι αποκλείουν την ανάληψη πρωτοβουλιών για την εισαγωγή νέων περιορισμών και παραμέτρων που θα αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση πιο περίπλοκων συστημάτων που θα υπόκεινται σε διαφορετικούς περιορισμούς και συνθήκες λειτουργίας.

## Βιβλιογραφία

---

- [1] "Supply Chain from Wikipedia, the free Encyclopedia," [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Supply\\_chain](http://en.wikipedia.org/wiki/Supply_chain). [Accessed 21 3 2015].
- [2] Δ. Γαργερού, «Η σύγχρονη τάση στη διοίκηση Logistics, τα συστήματα e-Logistics,» *Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Λογιστικής, Ηράκλειο*, 2011.
- [3] "Supply Chain Management from Wikipedia, the free Encyclopedia," [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Supply\\_chain\\_management](http://en.wikipedia.org/wiki/Supply_chain_management). [Accessed 21 3 2015].
- [4] «Τι είναι τα Logistics; από την Ελληνική Εταιρεία Logistics,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.logistics.org.gr/4/27/136/>. [Πρόσβαση 21 3 2015].
- [5] "Bullwhip effect from Wikipedia, the free Encyclopedia," [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bullwhip\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Bullwhip_effect). [Accessed 21 3 2015].
- [6] H. Lee, P. Padmanabhan και S. Whang, «The bullwhip effect in supply chain,» *Sloan Management Review*, 38(3), pp. 93-102, 1997a.
- [7] H. Lee, P. Padmanabhan και S. Whang, «Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect,» *Management Science*, 43(4), pp. 546-558.doi:10.1287/mnsc.1040.0266, 1997b.
- [8] *Ποσοτικά Μοντέλα Υποστήριξης Αποφάσεων, Παραδοτέο 4.3. του έργου MIS379526 «ΟΔΥΣΣΕΑΣ»: Ολιστική διαχείριση της μεταβλητότητας στις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ, Τμήμα Μηχανολόγων*

Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2015.

- [9] Αλγόριθμοι Επίλυσης Προβλημάτων Διαχείρισης Μεταβλητότητας, Παραδοτέο 4.4. του έργου MIS379526 «ΟΔΥΣΣΕΑΣ»: Ολιστική διαχείριση της μεταβλητότητας στις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες της παγκοσμιοποιημένης αγοράς, Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, , 2015.
- [10] "Production Planning from Wikipedia, the free Encyclopedia," p. [http://en.wikipedia.org/wiki/Production\\_planning](http://en.wikipedia.org/wiki/Production_planning), 21 3 2015.
- [11] H. Tempelmeier and M. Derstroff, "A langrangean-based heuristic for dynamic multilevel multiitem constrained lotsizing with setup times," *Management Science*, 42(5), pp. 738-757 doi: 10.1287/mnsc.42.5.738, 1996.
- [12] H. Tempelmeier, "Resource-constrained materials requirements planning - MRP rc," *Production Plannig & Control: The management of operations*, 8 (5), pp. 451-46 doi: 10.1080/095372897235028, 1997.
- [13] S. M. Disney and D. R. Towill, "The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains," *International Journal of Production Economics*, 85(2), pp. 199-215 doi: 10.1016/S0925-5273(03)00110-5, 2003.
- [14] G. K. Saharidis, Y. Dallery and F. Karaesmen, "Centralized versus decentralized production planning," *RAIRO Operations Research*, 40 (2), pp. 113-128. doi: 10.1051/ro:2006017, 2006.
- [15] L. Buschkühl, F. Sahling, S. Herber and H. Tempelmeier, "Dynamic capaciated lotsizingproblems: a classification of solution approches," *ORSpectrum*, 32(2), pp. 231-261. doi: 10.1007/s00291-008-0150-7, 2008.

