



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

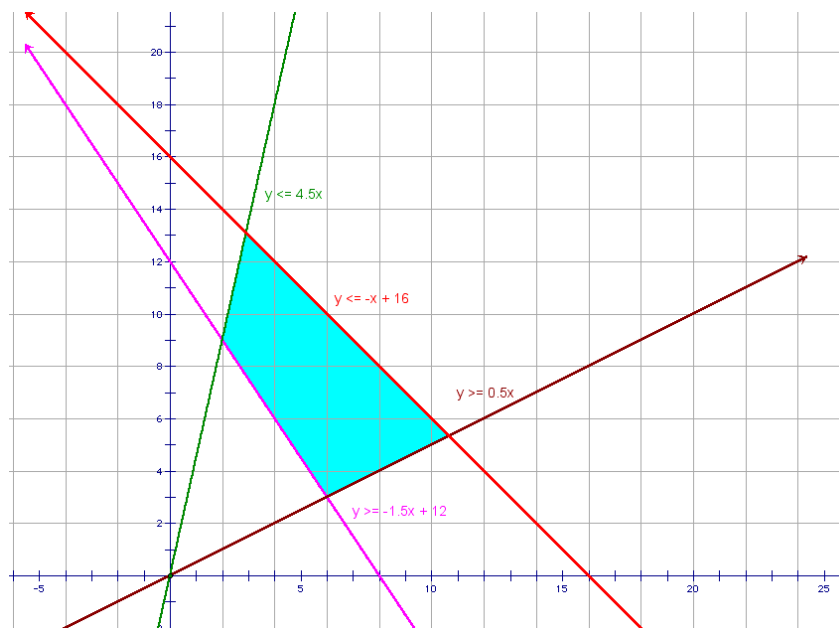
Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης
Διεργασιών και Συστημάτων

Διπλωματική Εργασία

Ανάπτυξη μοντέλου Μαθηματικού Προγραμματισμού
για την προσομοίωση επιχειρηματικών αποφάσεων με
έμφαση στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας

Σίσκος Ελευθέριος



Επιβλέπων: Γ. Μαυρωτάς Επικ. καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή της Σχολής, κ. Γιώργου Μαυρωτά.

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού για την προσομοίωση επιχειρηματικών αποφάσεων σε επίπεδο επιχειρηματικού παιχνιδιού (*business game*), υπό συνθήκες πλήρους μελλοντικής αβεβαιότητας. Στόχος μας είναι η έρευνα των βέλτιστων δράσεων που μπορεί να λάβει η επιχείρηση, ανάλογα με τις συνθήκες που θα επικρατήσουν στο μέλλον και η επιλογή τελικά μίας εξ αυτών. Η επιλογή της δράσης αυτής θα στηριχθεί στη συμβολή των κριτηρίων απόφασης υπό συνθήκες αβεβαιότητας και ενδεχομένως στο τέλος να απαιτηθεί και η υποκειμενική στάση του αποφασίζοντα. Στο τελευταίο στάδιο της εργασίας, θα επαληθεύσουμε αν όντως η απόφαση που καλούμαστε να πάρουμε είναι η βέλτιστη, μέσω της στοχαστικής ανάλυσης *Monte Carlo*. Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν, συγγράφηκαν και επιλύθηκαν στην ψηφιακή πλατφόρμα *GAMS (General Algebraic Modeling System)* που αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για προβλήματα εφαρμογής βελτιστοποίησης γραμμικού, μη γραμμικού και μικτού προγραμματισμού.

Απώτερος σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η παροχή χρήσιμων πληροφοριών και βοήθειας σε φοιτητές που θα ήθελαν να εντρυφήσουν στο πολύ όμορφο αλλά και διαδεδομένο περιβάλλον του μαθηματικού προγραμματισμού καθώς και στο εύχρηστο και αποτελεσματικό πρόγραμμα *GAMS*.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γιώργο Μαυρωτά για την πολύτιμη βοήθεια του και το χρόνο που αφιέρωσε για να βγει σε πέρας αυτή η διπλωματική εργασία καθώς και την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Λευτέρης Σίσκος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Αντικείμενο και σκοπός	6
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	8
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	10
2.1 Μεθοδολογική προσέγγιση	10
2.2 Μαθηματικός προγραμματισμός και μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός	11
2.2.1 Εισαγωγή στο μαθηματικό προγραμματισμό	11
2.2.2 Κλάδοι μαθηματικού προγραμματισμού.....	12
2.2.3 Ακέραιος και Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός.....	14
2.3 Λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα	17
2.3.1 Εισαγωγή στην αβεβαιότητα.....	17
2.3.2 Θεωρητικά ρεύματα θεωρίας αποφάσεων.....	18
2.3.3 Κριτήρια απόφασης υπό αβεβαιότητα.....	19
2.4 Προσομοίωση Monte Carlo.....	20
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (BUSINESS GAME)	26
3.1. Εισαγωγή.....	26
3.2. Συνοπτική περιγραφή του προγράμματος.....	27
3.3 Παράμετροι παιχνιδιού διοίκησης επιχειρήσεων	29
3.3.1 Παράμετροι παραγωγής	29
3.3.2 Παράμετροι επενδύσεων	31
3.3.3 Χρηματοοικονομικές παράμετροι	33
3.4 Στοιχεία αγοράς.....	35
3.5 Ειδικές παράμετροι αποφάσεων (αποφάσεις παικτών).....	39
3.5.1 Αποφάσεις που αφορούν τις πωλήσεις.....	39
3.5.2 Αποφάσεις που αφορούν την παραγωγή	40
3.5.3 Αποφάσεις που αφορούν τις επενδύσεις	40
3.5.4 Αποφάσεις που αφορούν τη χρηματοδότηση.....	41

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	42
4.1 Σκοπός και αντικείμενο.....	42
4.2 Μοντελοποίηση συνάρτησης ζήτησης	43
4.3 Παράμετροι και μεταβλητές.....	46
4.3.1 Παράμετροι μοντέλου	46
4.3.2 Συνεχείς μεταβλητές απόφασης	48
4.3.3 Ακέραιες μεταβλητές απόφασης	50
4.3.4 Ελεύθερες μεταβλητές.....	51
4.4 Περιορισμοί μοντέλου	52
4.4.1 Εξισώσεις ορισμού	52
4.4.2 Ανισοτικοί περιορισμοί	58
4.5 Αντικειμενική συνάρτηση.....	59
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	60
5.1. Επίλυση μοντέλου, εύρεση βέλτιστων λύσεων.....	60
5.1.1 Εισαγωγή παραμέτρων για την προσομοίωση των μελλοντικών σεναρίων.....	60
5.1.2 Επίλυση του μοντέλου για τα έξι μελλοντικά σενάρια	62
5.2 Επιλογή δράσης υπό αβεβαιότητα	65
5.2.1 Επεξεργασία	65
5.2.2 Εφαρμογή κριτηρίων απόφασης.....	67
5.3 Στοχαστική ανάλυση Monte Carlo	70
5.3.1. Uniform κατανομή πωλήσεων.....	71
5.3.2. Normal κατανομή πωλήσεων	73
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
6.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	76
6.2 Μελλοντικές προοπτικές.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	101

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας, είναι η παροχή των κατάλληλων εργαλείων και πληροφοριών σε επιχείρηση που καλείται να λάβει αποφάσεις έχοντας ως μεταβλητές απόφασης την τιμή του προϊόντος της, τη διαφημιστική δαπάνη, την πίστωση που θα δώσει στους πελάτες της καθώς και το κόστος έρευνας και ανάπτυξης (R&D). Μέσω της ψηφιακής πλατφόρμας GAMS, πραγματοποιήσαμε μία αξιόπιστη στα πραγματικά δεδομένα προσομοίωση με βάση το περιβάλλον του επιχειρηματικού παιχνιδιού (business game). Διακριτοποιήσαμε τις τιμές των τεσσάρων μεταβλητών απόφασης και συνθέσαμε όλους τους δυνατούς συνδιασμούς εκείνων, και τελικά προέκυψαν 540. Στη συνέχεια, προσομοιώσαμε έξι πιθανά μελλοντικά σενάρια που αφορούν στην βαρύτητα των τεσσάρων μεταβλητών απόφασης, βάσει των οποίων θα κινηθούν οι πωλήσεις του προϊόντος μας. Κατόπιν, επιλύσαμε έξι φορές το μοντέλο, μία για κάθε πιθανό μελλοντικό σενάριο και οδηγηθήκαμε σε έξι δράσεις, δηλαδή σε έξι περιπτώσεις από τις 540 που μπορεί να ακολουθήσει η επιχείρησή μας.

Όμως, επειδή αυτό δεν αρκεί, χρησιμοποιούμε στη συνέχεια τέσσερα κριτήρια απόφασης υπό συνθήκες πλήρους αβεβαιότητας για το μέλλον (κριτήριο Laplace, MAXIMAX, MAXIMIN και MINMAX Regret). Τα κριτήρια αυτά μας οδήγησαν σε τρεις διαφορετικές δράσεις, βάσει των οποίων καλείται ο αποφασίζων να επιλέξει μία εξ αυτών, ανάλογα με την ιδιοσυγκρασία του και την αισιοδοξία του για το μέλλον. Εμείς επιλέξαμε μία πιο συγκρατημένη και λιγότερο ριψοκίνδυνη στρατηγική, αυτή των κριτηρίων MAXIMIN και MINMAX Regret, ώστε να αποφύγουμε μεγάλες ζημιές και να πετύχουμε μέγιστα δυνατά κέρδη αν μελλοντικά επικρατήσουν δυσμενή σενάρια πωλήσεων.

Τέλος, επαληθεύσαμε τη στρατηγική που επιλέξαμε με τη βοήθεια της στοχαστικής ανάλυσης Monte Carlo. Επιλύοντας το μοντέλο 1000 φορές για δύο ήδη κατανομών των μελλοντικών πωλήσεων, μία κανονική και μία ομοιόμορφη, παρατηρούμε ότι περίπου στο 43% των περιπτώσεων, οδηγούμαστε στο ίδιο βέλτιστο σενάριο, το οποίο και τελικά επιλέγουμε να ακολουθήσουμε.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός

Η βέλτιστη κατανομή πόρων αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η επιχείρηση κατά την κατάστροψη μιας επιχειρηματικής στρατηγικής, κυρίως όταν η στρατηγική αυτή πρέπει να σχεδιαστεί σε περιβάλλον έντονης αβεβαιότητας. Είναι γνωστό ότι, αν η τιμή του τελικού προϊόντος μιας επιχείρησης είναι χαμηλή, τούτο σημαίνει ότι θα προσελκύσει περισσότερους αγοραστές, όμως περισσότεροι αγοραστές αναγκάζουν την επιχείρηση να παράγει περισσότερο, που αυτό σε οικονομική γλώσσα μεταφράζεται σε περισσότερο κόστος, αφού αυξάνονται οι ανάγκες σε πρώτες ύλες και παράλληλα αυξάνεται και το εργατικό κόστος. Από την άλλη, η υψηλή τιμή μειώνει τις πωλήσεις που με τη σειρά τους μειώνουν το κόστος παραγωγής, με την έννοια ότι οι ανάγκες παραγωγής είναι μειωμένες, αλλά οι μειωμένες πωλήσεις σημαίνουν και μειωμένα έσοδα.

Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές ότι το κέρδος μιας επιχειρηματικής δραστηριότητας (= έσοδα πωλήσεων – κόστος) είναι μια συνισταμένη περισσότερων από μία δυνάμεων που στη συγκεκριμένη περίπτωση εκφράζονται ως οικονομικά μεγέθη (ύψος πωλήσεων, δάνειο, τιμή πώλησης, εργατικό κόστος κλπ.). Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα, ότι κατά το σχεδιασμό μιας επιχειρηματικής πολιτικής, ένα από τα ζητούμενα είναι να βρεθεί εκείνο το σημείο πωλήσεων στο οποίο μεγιστοποιούνται τα κέρδη.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, κατά πρώτο λόγο η ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού για την μελέτη και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς και των αποφάσεων κατανομής πόρων που λαμβάνει μια επιχείρηση και κατά δεύτερο λόγο ο εξορθολογισμός της τελικής απόφασης σε αβέβαιο μέλλον, μέσα από πολλαπλά σενάρια υλοποίησης του. Ως μεθοδολογία προσέγγισης του προβλήματος κατανομής πόρων προτείνεται ένα μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Τούτο εφαρμόζεται σε περιβάλλον επιχειρηματικού παιχνιδιού (Μαυρωτάς, 2007).

Συγκεκριμένα, στο μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού οι κανόνες του Business Game δίνονται όσο πιο ρεαλιστικά και αξιόπιστα γίνεται. Στη συνέχεια επιλύοντας το μοντέλο προκύπτουν οι βέλτιστες αποφάσεις που καλείται να λάβει η κάθε επιχείρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή τα αποτελέσματα σε κάθε γύρο του παιχνιδιού δεν εξαρτώνται μόνο από την ίδια την επιχείρηση αλλά και από τη συμπεριφορά των υπολοίπων επιχειρήσεων που συμμετέχουν, τα αποτελέσματα δεν είναι ντετερμινιστικά προσδιορισμένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρήστης να μην έχει πλήρη έλεγχο των τιμών των παραμέτρων του προβλήματος (π.χ. πωλήσεις προϊόντος) με αποτέλεσμα να πρέπει να καταφύγουμε σε κάποιες τεχνικές διαχείρισης της αβεβαιότητας. Το μοντέλο ουσιαστικά προσδιορίζει τις βέλτιστες αποφάσεις με βάση την τρέχουσα πληροφόρηση. Όταν τα αποτελέσματα της κάθε περιόδου γίνονται γνωστά, τότε η επιχείρηση έχει τα δεδομένα για να προχωρήσει σε ένα νέο κύκλο αποφάσεων που προκύπτουν από μια νέα βελτιστοποίηση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια πολλαπλών σεναρίων υλοποίησης του μοντέλου. Οι αποφάσεις εξορθολογίζονται μέσω κριτηρίων απόφασης υπό αβεβαιότητα που λαμβάνουν υπ' όψη τους τη στάση των αποφασιζόντων απέναντι στον κίνδυνο. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εκτός από τη χρήση σεναρίων και κριτηρίων απόφασης σε περιβάλλον αβεβαιότητας θα χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση της αβεβαιότητας και η προσομοίωση Monte Carlo σε συνδυασμό με βελτιστοποίηση.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου έχει χρησιμοποιηθεί η ψηφιακή πλατφόρμα GAMS (General Algebraic Modeling System, www.gams.com). Πρόκειται για μια ψηφιακή πλατφόρμα ειδικά σχεδιασμένη για προβλήματα εφαρμογής βελτιστοποίησης γραμμικού, μη γραμμικού, μικτού προγραμματισμού (Brooke et al., 1998).

Το σύστημα GAMS απαλλάσσει τον χρήστη του από τα αμιγώς υπολογιστικά μέρη και τις χρονοβόρες επαναλήψεις δίνοντάς του τη δυνατότητα να επικεντρωθεί στην επινόηση και κατάστρωση του μοντέλου και στην κατά το δυνατόν ρεαλιστική αποτύπωση του εκάστοτε περιβάλλοντος και των εκάστοτε περιορισμών ή προτιμήσεων. Παράλληλα δίνεται και η δυνατότητα άμεσης ανάλυσης και αξιοποίησης των αποτελεσμάτων.

1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια μέσα από τα οποία παρουσιάζονται όλα τα βήματα που χρειάστηκαν για την κατασκευή του τελικού μοντέλου GAMS, ξεκινώντας από θεωρητική βάση και φτάνοντας στα συμπεράσματα.

Πέραν της εισαγωγής (κεφάλαιο 1), το κεφάλαιο 2 αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο στηρίζεται όλη η μεθοδολογική προσέγγιση. Γίνεται αναφορά στη σημαντικότητα του γραμμικού προγραμματισμού στην προσέγγιση προβλημάτων κατανομής πόρων καθώς και στα εργαλεία (κριτήρια) της θεωρίας αποφάσεων για τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται το περιβάλλον στο οποίο καλείται να αναπτυχθεί το μοντέλο που πρόκειται να εφαρμοστεί. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το περιβάλλον αυτό συνίσταται σε ένα επιχειρηματικό παιχνίδι (Business Game). Περιγράφονται όλες οι παράμετροι παραγωγής, επενδύσεων και οι αντίστοιχες χρηματοοικονομικές, τα στοιχεία αγοράς και ο τρόπος που αυτά επηρεάζουν την καμπύλη της ζήτησης καθώς και οι παράμετροι αποφάσεων που με τη σειρά τους χωρίζονται σε αποφάσεις που αφορούν τις πωλήσεις, την παραγωγή, τις επενδύσεις και την χρηματοδότηση.

Το κεφάλαιο 4 αναφέρεται αποκλειστικά στη δομή του μοντέλου. Περιγράφεται ο τρόπος που μοντελοποιήθηκε η συνάρτηση ζήτησης, ονοματίζονται όλα τα στοιχεία του επιχειρηματικού παιχνιδιού και ανάλογα διαχωρίζονται σαν παράμετροι, συνεχείς, ακέραιες και προκύπτουσες μεταβλητές απόφασης, σε ελεύθερες μεταβλητές. Επιπλέον παρουσιάζονται και ονοματίζονται όλες οι εξισώσεις και οι περιορισμοί όπως χρησιμοποιούνται στο μοντέλο GAMS.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου στις διάφορες περιπτώσεις. Παρουσιάζονται οι πίνακες με τις λύσεις που προκύπτουν από μια σειρά πειραμάτων (σενάρια) σχετικά με τις αρχικές τιμές των παραμέτρων και εφαρμόζονται πολλαπλά κριτήρια απόφασης σε αβέβαιο μέλλον, προκειμένου να υποστηριχθεί ο αποφασίζων στην επιλογή της καλύτερης λύσης.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων και γενική αποτίμηση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, στα αντίστοιχα παραρτήματα παρουσιάζονται το Μοντέλο GAMS και πίνακες από τις επιλύσεις του μοντέλου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

Το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο μέσω του οποίου δρομολογείται η επιλογή της «καλύτερης» επιχειρηματικής στρατηγικής ή δράσης, υπό το καθεστώς αβεβαιότητας και έλλειψης πληροφόρησης για τις πιθανότητες υλοποίησης των σεναρίων, αποτελείται από τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Βελτιστοποίηση της λύσης του προβλήματος στο πλαίσιο καθενός από τα υπάρχοντα σενάρια και συνεπώς επίτευξη τόσων χαρακτηριστικών, ακραίων δράσεων όσα και τα σενάρια. Καθεμία από τις δράσεις αυτές είναι βέλτιστη κατά το σενάριο που της αντιστοιχεί. Η βέλτιστη δράση επιτυγχάνεται μέσω μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού, το οποίο, πιο συγκεκριμένα, είναι μοντέλο μικτού γραμμικού προγραμματισμού (βλ. Παράγραφο 2.2).

Βήμα 2: Κατασκευή του πίνακα απόφασης ή πίνακα πληρωμών (βλ. Παραγράφους 2.3.1-2.3.2). Πρόκειται για τον πίνακα, ο οποίος απεικονίζει το κέρδος/όφελος για κάθε δυνατό ζεύγος (δράση, σενάριο).

Βήμα 3: Επιλογή μιας εκ των δράσεων που επιτεύχθηκαν στα δυο παραπάνω βήματα με βάση εκείνο το κριτήριο απόφασης που εκφράζει ή μοντελοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τη στάση του αποφασίζοντος απέναντι στον κίνδυνο (βλ. Παράγραφο 2.3.3).

Βήμα 4: Συνδυασμένη χρήση της τεχνικής προσομοίωσης Monte Carlo και του μοντέλου μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού για τη διαχείριση της αβεβαιότητας των πιο ευμετάβλητων παραμέτρων του συστήματος, δημιουργώντας ευσταθή αποτελέσματα για την επιτευχθείσα λύση του προβλήματος (βλ. Παράγραφο 2.4).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικά μεθοδολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη προτεινόμενη προσέγγιση της διπλωματικής εργασίας.

2.2 Μαθηματικός προγραμματισμός και μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός

2.2.1 Εισαγωγή στο μαθηματικό προγραμματισμό

Ο μαθηματικός προγραμματισμός (mathematical programming) είναι ίσως η πιο ανεπτυγμένη και περισσότερο χρησιμοποιημένη τεχνική υποστήριξης αποφάσεων στην οικονομία και διοίκηση. Έχει ως αντικείμενο την βέλτιστη κατανομή περιορισμένων μέσων ή πόρων μεταξύ διάφορων ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων κάτω από συνθήκες βεβαιότητας. Ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού αποτελείται από μια αντικειμενική συνάρτηση (objective function) η οποία εκφράζει το στόχο που θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε ή ελαχιστοποιήσουμε και από ένα σύνολο περιορισμών (δυναμικότητας, διαθεσιμότητας πόρων, τεχνολογίας, κλπ.), που εκφράζουν τους περιορισμούς του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο πρέπει να ληφθεί η απόφαση. Γενικό χαρακτηριστικό των μοντέλων μαθηματικού προγραμματισμού είναι ότι τόσο η αντικειμενική συνάρτηση όσο και οι περιορισμοί του προβλήματος εκφράζονται ως μαθηματικές συναρτήσεις (Πραστάκος, 2003).

Τα βασικά συστατικά ενός προβλήματος μαθηματικού προγραμματισμού είναι τα ακόλουθα:

Μεταβλητές απόφασης: Εκφράζουν ουσιαστικά τους αγνώστους του προβλήματος και είναι οι μεταβλητές που ελέγχει ο αποφασίζων, δηλ. εκείνες των οποίων τις τιμές μπορεί να καθορίσει. Το σύνολο των μεταβλητών απόφασης αποτελεί ουσιαστικά το αντικείμενο της διαδικασίας λήψης απόφασης. Η διαδικασία βελτιστοποίησης αποσκοπεί στο να βρεθούν οι τιμές εκείνες για τις μεταβλητές απόφασης οι οποίες βελτιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση.

Αντικειμενική συνάρτηση: Αποτελεί τη μαθηματική σχέση των μεταβλητών απόφασης που εκφράζει το κριτήριο βελτιστοποίησης. Επιδιώκεται είτε η ελαχιστοποίηση είτε η μεγιστοποίηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Στα προβλήματα πολυκριτηριακού μαθηματικού προγραμματισμού (multiobjective mathematical programming) υπάρχουν περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις (κριτήρια απόφασης), γι αυτό και τα προβλήματα αυτά αναφέρονται και ως προβλήματα διανυσματικής βελτιστοποίησης (vector optimization).

Περιορισμοί: Είναι οι μαθηματικές σχέσεις που καθορίζουν τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές απόφασης στη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Καθορίζουν δηλαδή το πεδίο ορισμού (εφικτό χώρο) του προβλήματος. Οι περιορισμοί μπορεί να είναι ισότητες ή ανισοεξισώσεις.

Παράμετροι: Είναι τα εξωγενώς οριζόμενα (εκτός του ελέγχου του αποφασίζοντος) μεγέθη του προβλήματος. Πρόκειται ουσιαστικά για τους γνωστούς όρους του προβλήματος οι οποίοι έχουν σταθερή τιμή στη διαδικασία βελτιστοποίησης. Συνήθως είναι συντελεστές των μεταβλητών απόφασης ή εκφράζουν ποσότητες απαραίτητες στη διαμόρφωση των περιορισμών (π.χ. την απαιτούμενη ζήτηση μιας δραστηριότητας).

2.2.2 Κλάδοι μαθηματικού προγραμματισμού

Ο μαθηματικός προγραμματισμός περιλαμβάνει μια σειρά από τεχνικές ανάλογα με τις προϋποθέσεις που ισχύουν στο κάθε πρόβλημα. Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) είναι ο πιο γνωστός κλάδος του μαθηματικού προγραμματισμού (Hadley, 1972, Dantzig and Thapa, 1997, Ξηρόκωστας, 1991, Σίσκος, 1998, Παπαρρίζος, 2001). Προϋποθέτει ότι οι συναρτήσεις στόχου και περιορισμών είναι γραμμικές και οι μεταβλητές αποφάσεων μπορούν να πάρουν όχι μόνο ακέραιες, αλλά και δεκαδικές τιμές. Άλλος επίσης γνωστός και ιδιαίτερα σημαντικός κλάδος του μαθηματικού προγραμματισμού, είναι ο ακέραιος προγραμματισμός (Garfinkel and Nemhauser, 1972), ο οποίος εφαρμόζεται όταν όλες οι μεταβλητές απόφασης οφείλουν να πάρουν ακέραιες τιμές. Ένας τρίτος γνωστός κλάδος του μαθηματικού προγραμματισμού είναι ο μη γραμμικός προγραμματισμός (non linear programming), όπου μερικές από τις συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση ή/και περιορισμοί) είναι μη γραμμικές.

Όταν οι μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν το πρόβλημα (αντικειμενικές συναρτήσεις και περιορισμοί), είναι γραμμικές ως προς τις μεταβλητές απόφασης τότε το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού κυρίως λόγω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους και την ευκολία επίλυσης τους. Με τη μέθοδο Simplex και τις

παραλλαγές της να κυριαρχούν στην επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων εδώ και 60 περίπου χρόνια, προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού με χιλιάδες μεταβλητές απόφασης και περιορισμούς, επιλύονται σήμερα σε ελάχιστο χρόνο (Hadley, 1972, Dantzig and Thapa, 1997, Ξηρόκωστας, 1991, Σίσκος, 1998, Παπαρρίζος, 2001). Αντίθετα, η επίλυση προβλημάτων μη γραμμικού προγραμματισμού είναι πιο δύσκολη υπόθεση και καταλήγει σε τοπικά βέλτιστα. Για τους λόγους αυτούς, επιδιώκεται στις περισσότερες περιπτώσεις τα πραγματικά προβλήματα να μοντελοποιούνται ως προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού προσφεύγοντας αρκετές φορές σε προσεγγίσεις μη γραμμικών συστημάτων με γραμμικές σχέσεις.

Μία άλλη ταξινόμηση, είναι ανάλογα με το είδος των μεταβλητών απόφασης, αν δηλαδή είναι συνεχείς μεταβλητές ή ακέραιες. Τα προβλήματα που έχουν μόνο συνεχείς μεταβλητές είναι πιο εύκολο να λυθούν σε σχέση με αυτά που έχουν ακέραιες μεταβλητές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το εφικτό χωρίο σε ένα πρόβλημα με ακέραιες μεταβλητές παρουσιάζει ασυνέχειες δυσκολεύοντας έτσι κατά πολύ τη διαδικασία επίλυσης. Από την άλλη μεριά όμως η δυνατότητα χρήσης ακεραίων μεταβλητών δίνει τη δυνατότητα μιας πιο ρεαλιστικής μοντελοποίησης της πραγματικότητας και επίσης επεκτείνει σημαντικά το πεδίο εφαρμογής του μαθηματικού προγραμματισμού και σε προβλήματα που έχουν συνδυαστικό χαρακτήρα (συνδυαστική βελτιστοποίηση), τα οποία χωρίς τη χρήση ακεραίων μεταβλητών θα ήταν αδύνατο να λυθούν. Στο 95% των περιπτώσεων οι ακέραιες μεταβλητές που συναντώνται σε μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού είναι δυαδικές μεταβλητές, δηλαδή παίρνουν τιμή 0 ή 1. Αν ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού έχει αποκλειστικά ακέραιες μεταβλητές χαρακτηρίζεται ως **μοντέλο ακέραιου προγραμματισμού** (integer programming, Garfinkel and Nemhauser, 1972). Αν έχει και συνεχείς και ακέραιες μεταβλητές χαρακτηρίζεται ως **μοντέλο μικτού ακέραιου προγραμματισμού** (mixed integer programming). Η επίλυση προβλημάτων ακέραιου και μικτού ακέραιου προγραμματισμού γίνεται συνήθως με τη μεθοδολογία «κλάδου και φράγματος» (branch and bound), μια τεχνική συστηματικής εξερεύνησης του πεδίου των δυνατών λύσεων (Garfinkel and Nemhauser, 1972, Σίσκος, 1998). Σε κάποιες περιπτώσεις, οι παράμετροι ενός μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού μπορεί να μην εκφράζονται με πραγματικούς αριθμούς αλλά με κατανομές πιθανότητας ή με ασαφείς αριθμούς, απεικονίζοντας έτσι την αβεβαιότητα ως προς την τιμή τους. Τότε το πρόβλημα

ανάγεται αντίστοιχα σε πρόβλημα στοχαστικού προγραμματισμού (stochastic programming) ή ασαφούς προγραμματισμού (fuzzy programming). Τα τελευταία χρόνια μάλιστα έχει αρχίσει να απασχολεί ιδιαίτερα η διαχείριση της αβεβαιότητας ως προς τις παραμέτρους ενός μοντέλου, ξεφεύγοντας από τις απλές μορφές ανάλυσης ευαισθησίας που μπορεί να προσφέρει και ο μαθηματικός προγραμματισμός.

Τέλος, όταν υπάρχουν περισσότερες από μία αντικειμενικές συναρτήσεις (όπως και στην προκειμένη περίπτωση), το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως **πρόβλημα πολυκριτηριακού μαθηματικού προγραμματισμού** (multiobjective programming, multiobjective optimization). Ο όρος πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση είναι ταυτόσημος με τον όρο διανυσματική βελτιστοποίηση (vector optimization) σε αντιδιαστολή με την μονοδιάστατη βελτιστοποίηση (scalar optimization) που πραγματεύεται ο συμβατικός μαθηματικός προγραμματισμός. Ο πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός έκανε την εμφάνισή του τη δεκαετία του 70, όταν η θεώρηση περισσότερων από μιας αντικειμενικών συναρτήσεων άρχισε να καθορίζει ένα πιο ρεαλιστικό πλαίσιο μοντελοποίησης των πολύπλοκων προβλημάτων του μάνατζμεντ (Zeleny, 1982, Steuer, 1985, Σίσκος, 1998, Μαυρωτάς, 2000).

2.2.3 Ακέραιος και Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός

Μία από τις προϋποθέσεις εφαρμογής του συνεχούς γραμμικού προγραμματισμού είναι η διαιρετότητα των μεταβλητών απόφασης. Σε ένα κλασικό (συνεχές) γραμμικό πρόγραμμα, οι μεταβλητές μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Υπάρχει, όμως ένας σημαντικός αριθμός προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, στα οποία όλες οι μεταβλητές, ή μερικές από αυτές, υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Τέτοιες μεταβλητές είναι, για παράδειγμα, αυτές που δηλώνουν αριθμό εργατών, αριθμό εργοστασιακών μονάδων, αποφάσεις χρηματοδότησης ή μη χρηματοδότησης ενός έργου, κλπ. Τα προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού στα οποία όλες ανεξαιρέτα οι μεταβλητές απόφασης περιορίζονται να πάρουν ακέραιες τιμές, εμπίπτουν στο πεδίο του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Εκείνα, στα οποία ο περιορισμός ακεραιότητας δεν

ισχύει για όλες τις μεταβλητές, αλλά για μερικές από αυτές, ονομάζονται προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού, όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση που οι μεταβλητές είναι περιορισμένες να παίρνουν τιμές 0 ή 1. Το πρόβλημα αυτό καλείται πρόβλημα **δυναδικού ακέραιου προγραμματισμού**. Μια σημαντική χρήση μιας δυναδικής μεταβλητής είναι να κωδικοποιήσουμε μια απόφαση μεταξύ δύο εναλλακτικών που θα πρέπει να ληφθεί στο πρόβλημα. Η τιμή που θα πάρει η μεταβλητή απόφασης κατά την επίλυση δείχνει ποια απόφαση πρέπει να επιλεγεί ώστε να βελτιστοποιηθεί η αντικειμενική συνάρτηση.

Μία απλή μέθοδος επίτευξης ακέραιης λύσης σε ένα πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού συνίσταται στο να επιλυθεί με τη συνηθισμένη μέθοδο Simplex για συνεχή γραμμικό προγραμματισμό και στη συνέχεια, να στρογγυλευθούν στον πλησιέστερο ακέραιο οι τιμές των μεταβλητών οι οποίες παίρνουν ρητές τιμές. Μία τέτοια διαδικασία είναι πολύ επικίνδυνη, όσο απλή κι αν φαίνεται, γιατί μπορεί να καταλήξει είτε σε υποβέλτιστες λύσεις, κατώτερες δηλαδή της πραγματικά βέλτιστης ακέραιης λύσης, είτε σε λύσεις μη πραγματοποιήσιμες, που παραβιάζουν δηλαδή τουλάχιστον έναν από τους περιορισμούς του προβλήματος. Το πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού που προκύπτει από ένα πρόβλημα ακέραιου ή μικτού ακέραιου προγραμματισμού αν αφαιρέσουμε τη συνθήκη οι μεταβλητές να είναι ακέραιες, ονομάζεται το **γραμμικό πρόβλημα χαλάρωσης του ακέραιου προγραμματισμού**. Στην πραγματικότητα, ο χώρος των εφικτών λύσεων για ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού περικλείεται μέσα στο χώρο των εφικτών λύσεων του αντίστοιχου γραμμικού προβλήματος χαλάρωσης. Αυτό συνεπάγεται ότι η βέλτιστη τιμή για το γραμμικό πρόβλημα χαλάρωσης θα είναι μεγαλύτερη ή ίση της αντίστοιχης βέλτιστης τιμής για το πρόβλημα του ακέραιου προγραμματισμού.

Σε περιπτώσεις που οι μεταβλητές απόφασης ενός γραμμικού προβλήματος είναι φραγμένες, παίρνουν δηλαδή περιορισμένο αριθμό ακέραιων τιμών, οι ιδεώδεις μέθοδοι επίλυσης του είναι οι μέθοδοι κλάδου και φράγματος (branch and bound methods) οι οποίοι στηρίζονται σε μια έμμεση απαρίθμηση των δυνατών ακέραιων λύσεων που επιδέχεται το πρόβλημα (Σίσκος, 1998).

Φυσικά, σήμερα υπάρχουν αρκετές μέθοδοι μικτού ακέραιου και ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Παρόλο όμως, που αρκετή ανθρώπινη προσπάθεια έχει αφιερωθεί με σκοπό να κατασκευαστούν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για τη λύση των προβλημάτων αυτών, εν τούτοις δε μπορεί να πει κανείς ότι κάθε πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού έχει βρει τη λύση του. Πάντως, ενδιαφέρον είναι το γεγονός, ότι τα προβλήματα του ακέραιου προγραμματισμού που παρουσιάζονται σαν συνέπεια ενός πραγματικού προβλήματος, σχεδόν πάντα λύνονται.

Είναι γεγονός πάντως, ότι σε προβλήματα όπου οι μεταβλητές ξεπερνούν τις 100, το μέγεθος του προβλήματος ξεπερνά συνήθως τα όρια και η πιθανότητα να το λύσει κανείς σε ένα λογικό χρόνο στον υπολογιστή είναι πολύ μικρή.

Στον μικτό ακέραιο προγραμματισμό (mixed integer programming), οι μεταβλητές ενός γνήσιου μη κενού υποσυνόλου του συνόλου των μεταβλητών παίρνουν ακέραιες τιμές και οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι συνεχείς. Διακρίνουμε τις περιπτώσεις του μικτού ακέραιου προγραμματισμού και του μικτού ακέραιου μη γραμμικού προγραμματισμού.

Ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου προγραμματισμού (MIP) που αφορά μεγιστοποίηση διατυπώνεται ειδικότερα ως εξής:

$$[max] z_{MIP} = \sum_{j \in I} c_j x_j + \sum_{j \in C} c_j x_j \quad (2.1)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{j \in I} a_{ij} x_j + \sum_{j \in C} a_{ij} x_j \leq, \geq \text{ ή } = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.2)$$

$$L_j \leq x_j \leq u_j, \quad j \in N, \quad x_j \in Z, \quad j \in I, \quad x_j \in R, \quad j \in C \quad (2.3)$$

Όπου I είναι το σύνολο των ακέραιων μεταβλητών, C είναι το σύνολο των συνεχών μεταβλητών και $N = I \cup C$. Τα κάτω και άνω όρια \bar{L}_i και \bar{u}_i , μπορούν να πάρουν τιμές $\pm\infty$. $\sum_{j \in N} c_j x_j$ είναι η αντικειμενική συνάρτηση της οποίας ζητείται η βελτιστοποίηση (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση). Μια εφικτή λύση, είναι κάθε διάνυσμα x , που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που ορίζει το πρόβλημα MIP και ως εφικτή περιοχή (feasible region) του προβλήματος ορίζεται το σύνολο όλων των εφικτών λύσεων. Μια εφικτή λύση όπου η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει τη

μέγιστη δυνατή τιμή (για προβλήματα μεγιστοποίησης) ή την ελάχιστη δυνατή τιμή (για προβλήματα ελαχιστοποίησης), ονομάζεται βέλτιστη λύση (optimal solution).

2.3 Λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα

2.3.1 Εισαγωγή στην αβεβαιότητα

Στη θεωρία, ένα μονοκριτηριακό πρόβλημα απόφασης τοποθετείται γενικά ως πρόβλημα απόφασης υπό το καθεστώς αβεβαιότητας (decision making under uncertainty) όταν οι αξιολογήσεις των δράσεων πάνω σε ένα κριτήριο αξιολόγησης δεν είναι γνωστές με βεβαιότητα, αλλά εξαρτώνται από τυχαία γεγονότα, που ονομάζονται σενάρια ή καταστάσεις της φύσης (states of the nature).

Κάθε τέτοιο πρόβλημα χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη των εξής τριών συνόλων :

- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, σύνολο δράσεων
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_t\}$, σύνολο των σεναρίων ή καταστάσεων της φύσης
- $g(a_i, e_k)$, συνάρτηση-κριτήριο που ορίζεται για κάθε ζεύγος (a_i, e_k) και δηλώνει το κέρδος/όφελος που καταλογίζεται στη δράση a_i όταν συμβεί το σενάριο e_k .

Θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι, όταν το κριτήριο αξιολόγησης g είναι ένα και μοναδικό, οι αποφάσεις θεωρούνται μονοκριτηριακές (monocriteria decisions), ενώ όταν υπάρχουν περισσότερα του ενός κριτήρια οι αποφάσεις λέγονται πολυκριτηριακές (multicriteria decisions).

Η διαθέσιμη πληροφορία σε ένα τέτοιο πρόβλημα παριστάνεται στη σχετική βιβλιογραφία με δυο αποδεκτούς τρόπους:

- Πίνακας απόφασης ή πληρωμών (decision matrix): Πρόκειται για τον πίνακα $g(A,E)$, ο οποίος απεικονίζει το κέρδος/όφελος για κάθε ζεύγος (a_i, e_k) .
- Δένδρο απόφασης (decision tree): Πρόκειται για γραφική παράσταση (δένδρο) που αναπαριστά την αλληλοδιαδοχή εναλλακτικών αποφάσεων και τυχαίων γεγονότων.

Οι αποφάσεις παρίστανται με το σύμβολο « \square » και τα τυχαία γεγονότα με το σύμβολο « \circ ». Το δένδρο χαράσσεται από αριστερά προς τα δεξιά και όταν ολοκληρωθεί, στα άκρα του τοποθετούνται τα αντιστοιχούντα κέρδη.

Η θεωρία των αποφάσεων (βλ. Savage, 1954, French, 1988, Σίσκος, 2008) έχει προ πολλού και εμπειριστατωμένα μελετήσει το μονοκριτηριακό πρόβλημα απόφασης υπό αβεβαιότητα. Το «ρεπερτόριο» αυτής της θεωρίας τυποποιείται τόσο ως προς το είδος της πληροφορίας που διαθέτει ο αποφασίζων για τα σενάρια (πιθανότητες), όσο και ως προς το κριτήριο απόφασης, μέσω του οποίου βελτιστοποιούνται οι επιλογές.

2.3.2 Θεωρητικά ρεύματα θεωρίας αποφάσεων

Σε γενικές γραμμές, τρία είναι τα γνωστότερα θεωρητικά ρεύματα, μέσα από τα οποία κινείται η θεωρία των αποφάσεων.

Πρώτη Θεωρία: Υποθέτουμε εδώ ότι ο αποφασίζων, όπως και ο αναλυτής άλλωστε, δεν διαθέτει καμία πληροφόρηση για τις πιθανότητες που έχουν να συμβούν τα σενάρια e_k ούτε επιθυμεί να έχει κάποια συμπληρωματική πληροφόρηση (π.χ. μετρήσεις, δημοσκοπήσεις, έρευνες αγοράς, ...). Στη θεωρία αυτή, οι αποφάσεις εξορθολογίζονται με διάφορους κανόνες ή κριτήρια απόφασης (decision criteria), ανάλογα με τη στάση του αποφασίζοντος (ρίσκο), απέναντι στον κίνδυνο.

Δεύτερη Θεωρία: Υποθέτουμε ότι ο αποφασίζων γνωρίζει τις πιθανότητες υλοποίησης των σεναρίων e_k , $k=1,2,\dots,t$ και επιθυμεί ενδεχομένως την απόκτηση συμπληρωματικής πληροφορίας μέσω μετρήσεων, ερευνών αγοράς, κλπ. Πρωτεύοντα ρόλο στη θεωρία αυτή παίζει η μεθοδολογία αξιοποίησης των δένδρων απόφασης, όπου το κριτήριο απόφασης που μεγιστοποιείται είναι η μαθηματική ελπίδα του κέρδους (μέσο κέρδος).

Τρίτη Θεωρία (θεωρία χρησιμότητας, utility theory): Η θεωρία αυτή διαφέρει από την προηγούμενη ως προς το κριτήριο απόφασης, το οποίο αυτή τη φορά είναι η μαθηματική ελπίδα της χρησιμότητας (expected utility).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, τοποθετούμαστε στο πλαίσιο της πρώτης θεωρίας, δηλαδή δεν έχουμε καμία πληροφορία ούτε επιθυμούμε να αποκτήσουμε,

για τις πιθανότητες που έχει το κάθε μελλοντικό σενάριο πωλήσεων e_k , να επαληθευτεί.

2.3.3 Κριτήρια απόφασης υπό αβεβαιότητα

Κριτήριο MAXIMAX (Wald, αισιόδοξη στάση αποφασίζοντος)

Ο αποφασίζων επιλέγει εκείνη τη δράση, η οποία στην καλύτερη περίπτωση τον οδηγεί στο μεγαλύτερο δυνατό κέρδος. Τούτο συμβολίζεται ως εξής :

$$\alpha^* / \{\max_i \max_k g(a_i, e_k)\} \quad (2.4)$$

Κριτήριο MAXIMIN (Wald, απαισιόδοξη στάση αποφασίζοντος)

Ο αποφασίζων επιλέγει εκείνη τη δράση, η οποία στη χειρότερη περίπτωση τον οδηγεί στο μεγαλύτερο δυνατό κέρδος. Τούτο συμβολίζεται:

$$\alpha^* / \{\max_i \min_k g(a_i, e_k)\} \quad (2.5)$$

Κριτήριο του Hurwicz

Εδώ υπολογίζεται, για κάθε δράση, ο σταθμισμένος μέσος των ακραίων τιμών του κέρδους:

$$am + (1-a) \times M \quad (2.6)$$

όπου, m είναι η ελάχιστη τιμή του κέρδους, M η μεγαλύτερη τιμή και a είναι ένας συντελεστής μεταξύ 0 και 1 ο οποίος μετρά τον βαθμό απαισιοδοξίας του αποφασίζοντος, (όσο πιο μεγάλο επιλέγεται το a , τόσο πιο απαισιόδοξος εμφανίζεται ο αποφασίζων).

Ο αποφασίζων επιλέγει τη δράση εκείνη η οποία μεγιστοποιεί το μέσο κέρδος ,ως εξής:

$$\alpha^* / \{\max_{ai} [am_i + (1 - a)M_i]\} \quad (2.7)$$

Κριτήριο του Laplace

Κατά το κριτήριο αυτό, οι δράσεις κατατάσσονται ως προς το μέσο κέρδος και ο αποφασίζων επιλέγει τη δράση α^* , κατά τον τύπο :

$$g(\alpha^*) = \max_i \left\{ \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t g(\alpha_i, e_k) \right\} \quad (2.8)$$

Κριτήριο MINMAX Regret κόστους ευκαιρία, (Savage)

Για κάθε κελί του πίνακα πληρωμών, υπολογίζεται το κόστος ευκαιρίας το οποίο είναι η διαφορά μεταξύ του μέγιστου κέρδους της γραμμής (του ενδεχομένου e_k) και του κέρδους του κελιού. Υπολογίζεται με λίγα λόγια μία μήτρα απωλειών κερδών. Εν συνεχεία, επιλέγεται η δράση που ικανοποιεί το κριτήριο minmax, δηλαδή η δράση με τις ελάχιστες μέγιστες απώλειες:

$$\alpha^* / \{ \min_{\alpha_i} \max_{e_k} r(\alpha_i, e_k) \} \quad (2.9)$$

$$\text{Όπου: } r(\alpha_i, e_k) = \max_{e_j} g(\alpha_i, e_j) - g(\alpha_i, e_k) \quad (2.10)$$

2.4 Προσομοίωση Monte Carlo

Στη στοχαστική ανάλυση, οι τιμές των μεταβλητών ακολουθούν μια κατανομή πιθανότητας, δηλαδή δεν λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, αφού κυμαίνονται σε μια περιοχή τιμών σε κάθε σημείο της οποίας αντιστοιχεί μια πιθανότητα. Λόγω του ότι οι μεταβλητές λαμβάνονται με τη μορφή κατανομής πιθανότητας, το αποτέλεσμα υπολογίζεται επίσης με τη μορφή κατανομής πιθανότητας. Μια συνηθισμένη μέθοδος στοχαστικής ανάλυσης που χρησιμοποιείται ευρέως, είναι η προσομοίωση Monte-Carlo. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για την επίλυση περίπλοκων αριθμητικών προβλημάτων, που είναι δύσκολο να λυθούν αναλυτικά (Μαυρωτάς, 2000).

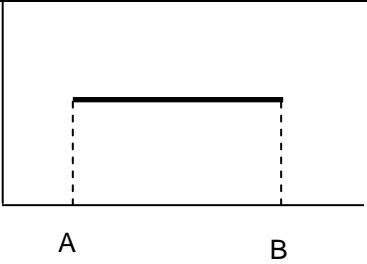
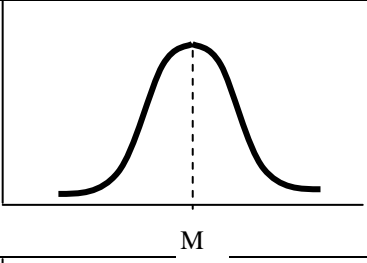
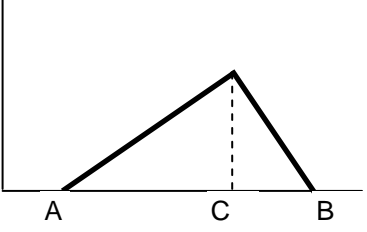
Με τη μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo παράγονται χαρτοφυλάκια επενδυτικών σχεδίων ίσα με τον αριθμό των επαναλήψεων, για διάφορες τιμές των μεταβλητών οι οποίες λαμβάνονται από συγκεκριμένες κατανομές πιθανότητας. Γενικά, οι μεταβλητές μπορεί να λάβουν τιμές από διάφορες κατανομές, όπως φαίνεται στον

Πίνακα 2.1. Στον *Πίνακα 2.2* φαίνονται τρία συγκεκριμένα είδη κατανομών πιθανότητας (ομοιόμορφη, κανονική, τριγωνική) για τις «αβέβαιες» μεταβλητές καθώς και οι παράμετροι τους. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία κάναμε χρήση της ομοιόμορφης και της κανονικής κατανομής για να προσομοιώσουμε την κατανομή των μελλοντικών πωλήσεων.

Πίνακας 2.1: Κατανομές μεταβλητών (Μαυρωτάς, 2000).

ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	
n-διάστατη κανονική	Poisson
Κανονική – Gaussian	t-student
Αρνητική Διωνυμική	Εκθετική
Λογαριθμοκανονική	Bernoulli
Υπεργεωμετρική	Τριγωνική
Πολυωνυμική	Rayleigh
Ομοιόμορφη	Cauchy
F-Snedecor	Weibull
Γεωμετρική	Γάμμα
Διωνυμική	Βήτα

Πίνακας 2.2: Κατανομές πιθανότητας και οι παράμετροι τους (Μαυρωτάς, 2000).

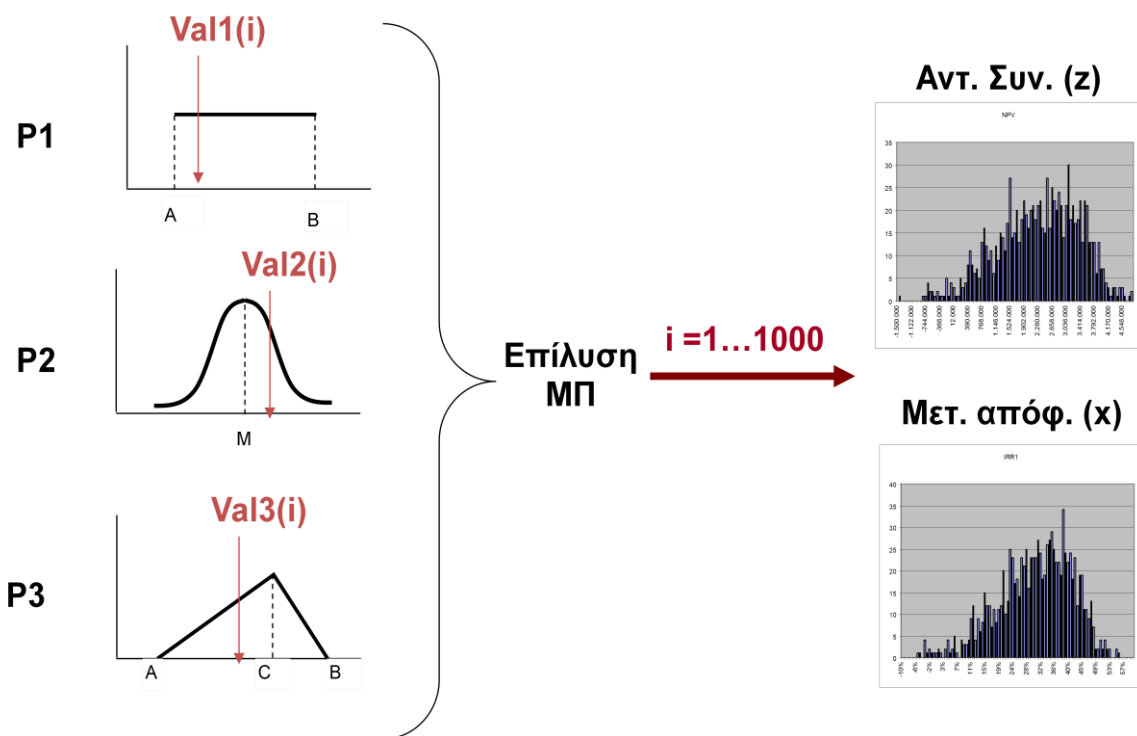
ΟΝΟΜΑ	ΜΟΡΦΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ
Ομοιόμορφη κατανομή (<i>Uniform distribution</i>)		A: ελάχιστη τιμή B: μέγιστη τιμή
Κανονική (ή Gaussian) κατανομή (<i>Normal distribution</i>)		M: μέση τιμή σ: τυπική απόκλιση
Τριγωνική κατανομή (<i>Triangular distribution</i>)		A: ελάχιστη τιμή C: πιο πιθανή τιμή B: μέγιστη τιμή

Η ομοιόμορφη κατανομή χρησιμοποιείται όταν η εν λόγω μεταβλητή λαμβάνει τιμές με την ίδια πιθανότητα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα $[A,B]$, οπότε ο αποφασίζων εισάγει ως παραμέτρους της κατανομής την ελάχιστη (min) και μέγιστη τιμή (max) του διαστήματος αυτού.

Η κανονική κατανομή χρησιμοποιείται για μεταβλητές όπου οι τιμές τους κυμαίνονται συμμετρικά γύρω από μια μέση τιμή. Ο αποφασίζων εισάγει ως παραμέτρους της κατανομής τη μέση τιμή (M) και την τυπική απόκλιση (σ). Οι τιμές της μεταβλητής αυτής κυμαίνονται στο διάστημα $[M-3\sigma, M+3\sigma]$.

Η τριγωνική κατανομή χρησιμοποιείται όταν ο αποφασίζων θέλει να εισάγει μια απλή κατανομή με μη συμμετρικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, ο αποφασίζων μπορεί να δώσει το διάστημα μεταβολής $[A,B]$ της μεταβλητής και την πιο πιθανή τιμή (C) στο διάστημα αυτό. Έτσι διαμορφώνεται μια κατανομή που έχει τιμές στο διάστημα $[A,B]$ αλλά με μεγαλύτερη συχνότητα γύρω από το σημείο C.

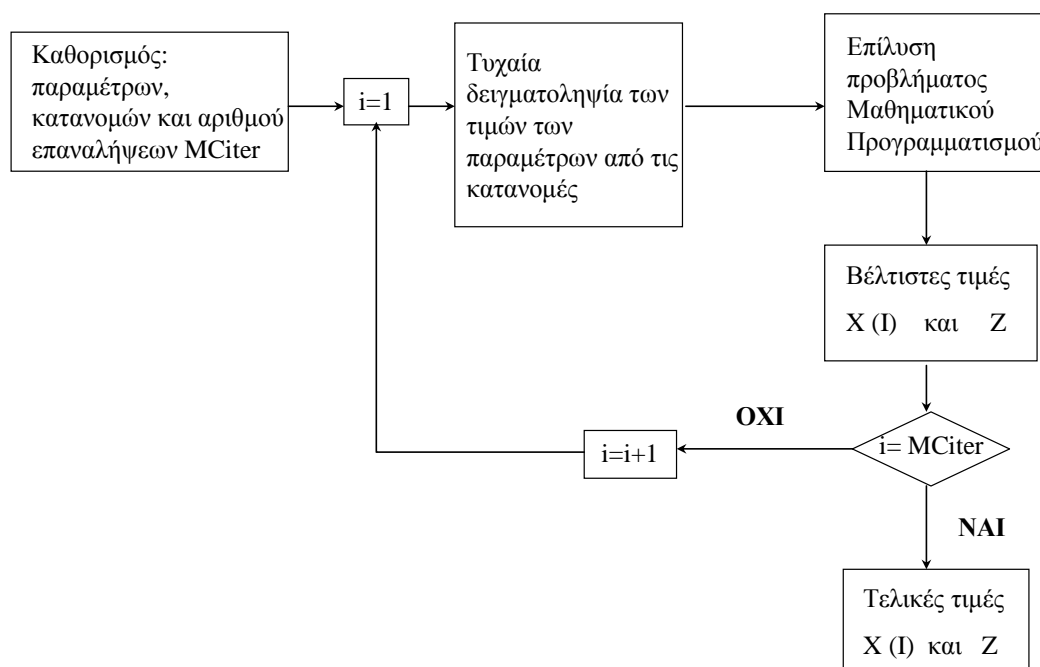
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η συνδυασμένη χρήση της τεχνικής προσομοίωσης Monte Carlo και του 0-1 Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, επέτρεψε τη διαχείριση της αβεβαιότητας των πιο ευμετάβλητων παραμέτρων του συστήματος, δημιουργώντας εύρωστα χαρτοφυλάκια επενδυτικών σχεδίων. Η εισαγωγή του παράγοντα της αβεβαιότητας στο μοντέλο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Monte Carlo, περιγράφεται παρακάτω.



Σχήμα 2.1: Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo σε συνδυασμό με βελτιστοποίηση.

Αρχικά καθορίζονται οι βασικές αβέβαιοι παράμετροι, οι κατανομές τους καθώς και ο αριθμός των επιθυμητών επαναλήψεων της συνολικής διαδικασίας. Με τη βοήθεια γεννήτριας ψευδο-τυχαίων αριθμών (optionseed-GAMS), γίνεται τυχαία δειγματοληψία των τιμών των παραμέτρων από τους τρεις τύπους κατανομών που χρησιμοποιούνται (ομοιόμορφη, κανονική, τριγωνική), για κάθε μεταβλητή αντίστοιχα. Στη συνέχεια, επιλύεται το πρόβλημα 0-1 Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, με τη βοήθεια του λογισμικού GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Έτσι, προκύπτουν οι βέλτιστες τιμές για την αντικειμενική

συνάρτηση Z (συνολική επίδοση σχεδίων – TOTSCORE – total score of projects) και τις μεταβλητές απόφασης $X(I)$ (δυναδικές μεταβλητές 1-0 για την πραγματοποίηση ή όχι κάποιου σχεδίου, αντίστοιχα). Αν ο αριθμός των επαναλήψεων που έχουν ολοκληρωθεί συμπίπτει με τον επιθυμητό, λαμβάνονται οι τελικές τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης και των μεταβλητών απόφασης. Διαφορετικά η διαδικασία αυτή, επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ροής διαδικασίας επίλυσης γ.π. με Monte-Carlo.

Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται στη στοχαστική ανάλυση με τη βοήθεια της μεθόδου Monte Carlo είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Καθορίζονται οι βασικές αβέβαιοι παράμετροι.
- ✓ Ορίζονται συγκεκριμένες κατανομές πιθανότητας για τις παραμέτρους αυτές.
- ✓ Γίνεται τυχαία δειγματοληψία από τις κατανομές για τις τιμές των παραμέτρων.

- ✓ Υπολογίζεται το τελικό αποτέλεσμα.
- ✓ Τα βήματα 3 έως 4 επαναλαμβάνονται, τόσες φορές όσες και ο αριθμός των επαναλήψεων (εν προκειμένω 1000 φορές).

Η περιγραφόμενη διαδικασία φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 2.2 παραπάνω.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ - ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (BUSINESS GAME)

3.1. Εισαγωγή

Το Παιχνίδι Διοίκησης Επιχειρήσεων (ΠΔΕ) αποτελεί ουσιαστικά ένα αλληλεπιδραστικό παιχνίδι προσομοίωσης στον υπολογιστή στο οποίο συμμετέχουν ανταγωνιστικές επιχειρήσεις. Τα ΠΔΕ έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αναπτύχθηκαν ραγδαία τη δεκαετία του 1990 με την αλματώδη εξέλιξη της υπολογιστικής ισχύος των υπολογιστών. Πολύπλοκες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων μεταβλητών μπορούν πλέον να μοντελοποιηθούν και με τον τρόπο αυτό να προσομοιωθεί η λειτουργία μιας αγοράς όπου συμμετέχουν διάφοροι παίκτες-επιχειρήσεις. Υπάρχουν πολλών ειδών ΠΔΕ τα οποία έχουν μεν περίπου κοινή δομή ωστόσο το καθένα μπορεί να δίνει έμφαση σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Σε κάθε ΠΔΕ οι παίκτες (περισσότεροι από 2) παριστάνουν τους μάνατζερ επιχειρήσεων οι οποίες δραστηριοποιούνται σε μια συγκεκριμένη αγορά.

Η αγορά αυτή έχει ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία είναι κοινά και γνωστά σε όλους τους παίκτες-μάνατζερ και διαμορφώνονται από τον *διαχειριστή* του παιχνιδιού. Η αγορά είναι δυναμική και το μέγεθός της καθώς και τα μερίδια αγοράς των παικτών διαμορφώνονται ουσιαστικά από τις ίδιες τις αποφάσεις των παικτών. Οι παίκτες (ή ομάδες παικτών) καλούνται να λάβουν μια σειρά αποφάσεων (ύψος παραγωγής, νέων επενδύσεων, τιμή προϊόντος, διαφημιστική δαπάνη κλπ) έτσι ώστε να ικανοποιήσουν τους στόχους που έχουν θέσει (μεγιστοποίηση κερδών, αύξηση μεριδίου αγοράς κλπ).

Το παιχνίδι παίζεται συνήθως επαναληπτικά, σε περισσότερους από έναν διαδοχικούς κύκλους (T περίοδοι), έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αναπροσαρμογής των αποφάσεων από περίοδο σε περίοδο. Καθεμία επανάληψη του παιχνιδιού αντιπροσωπεύει μια περίοδο και ανάλογα με την ικανοποίηση των στόχων του σε αυτή, ο κάθε παίκτης συγκεντρώνει μια βαθμολογία. Όλοι οι παίκτες ξεκινούν από την ίδια αφετηρία (αρχικό κεφάλαιο, κλπ) και στο τέλος του παιχνιδιού νικητής αναδεικνύεται αυτός που έχει συγκεντρώσει την υψηλότερη βαθμολογία.

3.2. Συνοπτική περιγραφή του προγράμματος

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για την υλοποίηση του ΠΔΕ χρησιμοποιείται μια εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας (Μαυρωτάς, 2006) σε περιβάλλον Microsoft Excel. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή αποτελείται από ένα αρχείο Microsoft Excel για τον διαχειριστή του παιχνιδιού και από ένα αντίστοιχο αρχείο Excel για κάθε παίκτη ή ομάδα παικτών.

Το αρχείο του διαχειριστή περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον καθορισμό της αγοράς και ενημερώνεται από τις αποφάσεις των παικτών σε κάθε κύκλο του παιχνιδιού. Στο αρχείο του διαχειριστή γίνονται και οι κατάλληλοι υπολογισμοί έτσι ώστε με βάση τις αποφάσεις των παικτών να διαμορφώνεται η συνολική αγορά και τα μερίδια αγοράς των παικτών. Επίσης, στο αρχείο αυτό αποθηκεύονται οι αποφάσεις και τα στοιχεία κάθε περιόδου για όλες τις ομάδες που συμμετέχουν στο παιχνίδι.

Τα αρχεία των παικτών περιέχουν τις σχέσεις εκείνες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διαφόρων μεγεθών της επιχείρησης σε κάθε περίοδο και τη δημιουργία των σχετικών αναφορών (λογαριασμοί εκμετάλλευσης, ανάλυση πληρωμών (cash flow), ισολογισμοί, ανάλυση νεκρού σημείου). Με τον τρόπο αυτό η κάθε ομάδα παικτών έχει τη δυνατότητα να βλέπει άμεσα τις επιπτώσεις των αποφάσεων της στα διάφορα μεγέθη της επιχείρησης. Όταν επιλεγούν οι τελικές αποφάσεις, κάθε ομάδα της αποστέλλει στον διαχειριστή του παιχνιδιού.

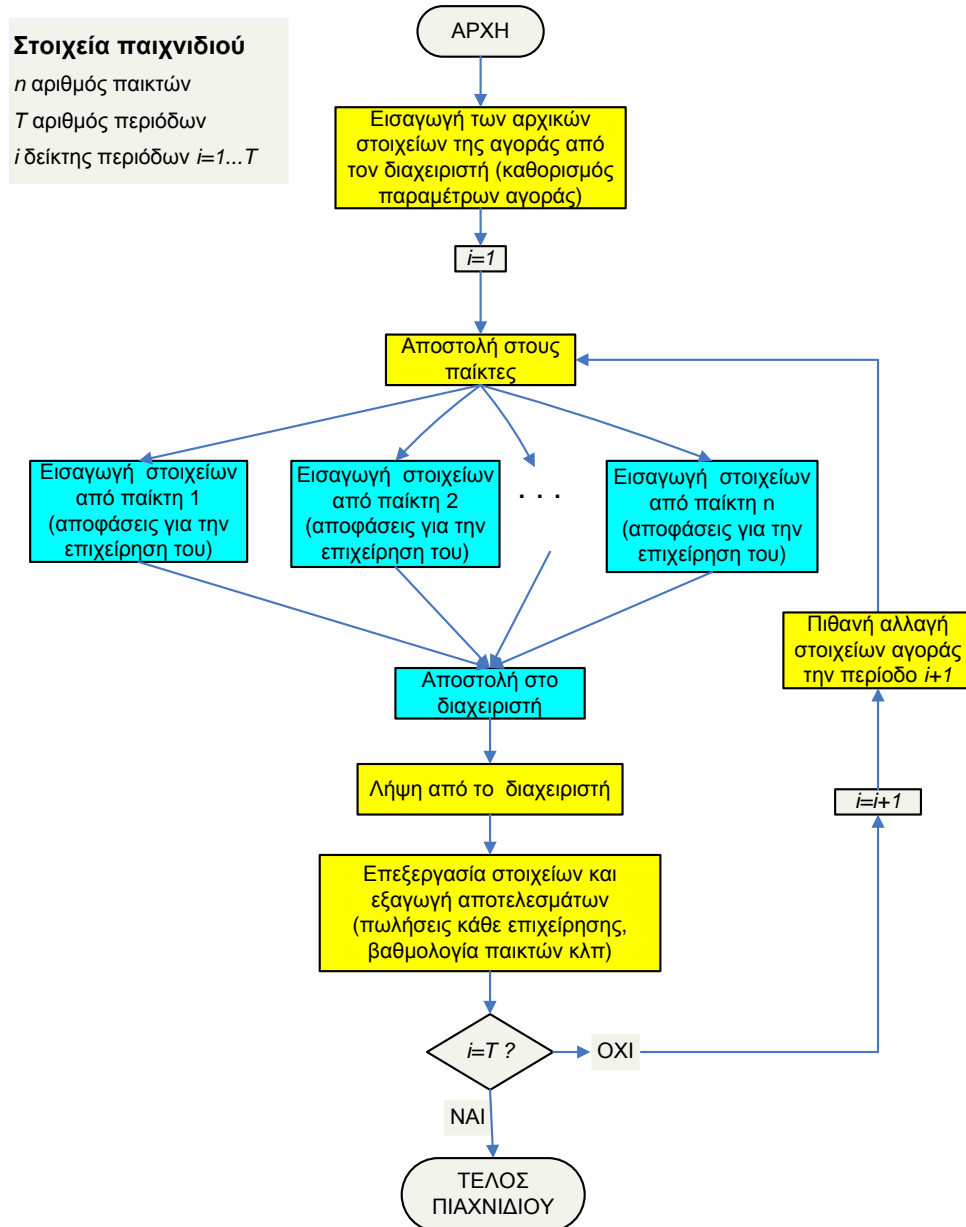
Βασικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι η περιγραφή της αγοράς στην οποία κινείται η επιχείρηση, η οποία καθορίζεται από τον διδάσκοντα αλλά και από τις αποφάσεις των παικτών. Στο συγκεκριμένο παιχνίδι θεωρείται ότι τέσσερις παράγοντες επηρεάζουν τη ζήτηση του προϊόντος: η **τιμή** του προϊόντος, η **διαφημιστική δαπάνη**, η παρεχόμενη **πίστωση** και οι **δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης**. Η μορφή της συνάρτησης ζήτησης ως προς κάθε έναν από τους παράγοντες αυτούς καθώς και η μεταξύ τους σχετική βαρύτητα, επιλέγεται με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους από τον διαχειριστή του παιχνιδιού. Επίσης τίθενται τα πλαίσια μέσα στα οποία μπορεί να κινηθεί η αγορά και ο κάθε παίκτης μέσω διαφόρων παραμέτρων όπως το ανελαστικό τμήμα της ζήτησης, το θεωρητικό μέγεθος αγοράς, η ανώτατη και κατώτατη τιμή του προϊόντος, κλπ. Επίσης

καθορίζεται το χρηματοοικονομικό πλαίσιο (επιτόκια, μετοχικό κεφάλαιο της κάθε εταιρείας κ.α.) μέσα στο οποίο θα λειτουργήσει η επιχείρηση που θα διοικήσει ο παίκτης(ή η ομάδα παικτών) καθώς και, τα στοιχεία κόστους όπως κόστος μονάδος προϊόντων, πρώτων υλών, εργατικά, κλπ.

Στη συνέχεια και για κάθε περίοδο ο κάθε παίκτης πρέπει να πάρει αποφάσεις για οτιδήποτε αφορά την επιχείρηση που διοικεί, όπως αποφάσεις για την τιμή προϊόντος, διαφημιστικές δαπάνες, πιστώσεις προς πελάτες, βελτιώσεις του προϊόντος, επενδύσεις σε νέο παραγωγικό δυναμικό, αποφάσεις για δάνεια, αγορές υλών καθώς και άλλα στοιχεία για τη λειτουργία της επιχείρησης.

Το πρόγραμμα, αφότου ο παίκτης δώσει και μία κατά τη γνώμη του εκτίμηση των πωλήσεων που θα πραγματοποιήσει η επιχείρησή του, παράγει οικονομικές καταστάσεις που θα τον βοηθήσουν στην οριστικοποίηση των αποφάσεών του όπως την ανάλυση κόστους, τα προβλεπόμενα αποτελέσματα χρήσης, την ανάλυση πληρωμών (cash flow), τον ισολογισμό και τον υπολογισμό του νεκρού σημείου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι αναφορές αυτές βασίζονται στις **εκτιμώμενες πωλήσεις** και **όχι στις πραγματικές πωλήσεις** τις οποίες θα του αποδώσει τελικά το πρόγραμμα. Ο παίκτης, μετά την αξιολόγηση των αποφάσεών του, βλέποντας τις οικονομικές καταστάσεις που παράγει το πρόγραμμα, οριστικοποιεί τις αποφάσεις του για την δεδομένη περίοδο.

Μετά την οριστικοποίηση των αποφάσεών του, ο κάθε παίκτης αποστέλλει τα στοιχεία των αποφάσεων του στον διαχειριστή. Το πρόγραμμα επεξεργάζεται τα δεδομένα αφού λάβει τα στοιχεία από όλους τους παίκτες και στη συνέχεια αποδίδει στον κάθε παίκτη τις πωλήσεις που του αναλογούν σύμφωνα με τις αποφάσεις που έχει πάρει και τις παραμέτρους που διαμορφώνουν την αγορά. Τα αποτελέσματα αυτά σε ότι αφορά τις πραγματοποιηθείσες πωλήσεις για κάθε παίκτη γνωστοποιούνται σε αυτούς, οι οποίοι με τη σειρά τους καλούνται να λάβουν τις αποφάσεις τους για την επόμενη περίοδο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες είναι και οι περίοδοι (συνήθως μία περίοδος αντιστοιχεί σε ένα έτος) που ορίζονται για κάθε παιχνίδι και εμφανίζεται σχηματικά παρακάτω, στο σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1 : Διάγραμμα ροής διαδικασίας του business game (Μαυρωτάς, 2006)

3.3 Παράμετροι παιχνιδιού διοίκησης επιχειρήσεων

3.3.1 Παράμετροι παραγωγής

Οι παράμετροι αυτοί περιγράφουν ουσιαστικά την παραγωγική διαδικασία καθορίζοντας τις τιμές των συντελεστών παραγωγής καθώς και διάφορα άλλα κόστη της παραγωγικής διαδικασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παράμετροι αυτοί μπορούν

να αλλάζουν από τον διαχειριστή του παιχνιδιού από περίοδο σε περίοδο. Πιο αναλυτικά οι παράμετροι αυτές είναι οι ακόλουθοι:

Πρώτες ύλες ανά μονάδα προϊόντος: Η παράμετρος αυτή καθορίζει πόσο κοστίζουν οι πρώτες ύλες για κάθε μονάδα προϊόντος και μετράται σε €. Στον όρο «πρώτες ύλες» συμπεριλαμβάνονται τα υλικά συσκευασίας καθώς και η ενέργεια που τυχόν απαιτείται. Υποτίθεται ότι μια μονάδα πρώτης ύλης απαιτείται για την παρασκευή μιας μονάδας προϊόντος (αναλογία πρώτων υλών και προϊόντων 1:1).

Εργατικά ανά μονάδα προϊόντος: Η παράμετρος αυτή αφορά το κόστος των εργατικών ανά μονάδα προϊόντος σε € σε συνθήκες κανονικής απασχόλησης.

Εργατικά υπερωριακής δυναμικότητας ανά μονάδα προϊόντος: Η παράμετρος αυτή καθορίζει πόσο κοστίζουν τα υπερωριακά εργατικά ανά μονάδα προϊόντος σε €. Η τιμή της εν λόγω παραμέτρου είναι ευνόητο ότι είναι υψηλότερη απ'ότι η τιμή των εργατικών κανονικής απασχόλησης (βλ. προηγούμενη παράμετρο) ανά μονάδα προϊόντος. Η μέγιστη υπερωριακή απασχόληση μπορεί να είναι έως και 50% της εγκατεστημένης δυναμικότητας, δηλαδή μια μονάδα με εγκατεστημένη δυναμικότητα 10,000 μονάδων το χρόνο μπορεί να παράγει μέχρι και 15,000 μονάδες, όπου οι 5,000 επιπλέον μονάδες θα προκύπτουν από την υπερωριακή απασχόληση και θα κοστολογούνται βεβαίως αναλόγως.

Μεταβλητά έξοδα διοίκησης παραγωγής (μεταβλητό overhead παραγωγής): Είναι η παράμετρος που εκφράζει το μεταβλητό μέρος των εξόδων διοίκησης παραγωγής δηλαδή αυτό που είναι ανάλογο με τον όγκο παραγωγής. Συγκεκριμένα, τα μεταβλητά έξοδα διοίκησης παραγωγής εκφράζονται ως ποσοστό επί του εργατικού κόστους.

Σταθερά έξοδα διοίκησης παραγωγής (σταθερό overhead παραγωγής): Είναι η παράμετρος που εκφράζει το σταθερό μέρος των εξόδων διοίκησης παραγωγής δηλαδή αυτό που είναι ανεξάρτητο από τον όγκο παραγωγής και στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ότι εξαρτάται από το ύψος των παγίων. Εδώ τα σταθερά έξοδα διοίκησης παραγωγής εκφράζονται ως ποσοστό επί του κόστους του υπάρχοντος εξοπλισμού.

Κόστος διατήρησης αποθεμάτων πρώτων υλών: Η παράμετρος αναφέρεται στο ετήσιο κόστος διατήρησης αποθεμάτων (αποθήκευσης) των πρώτων υλών ως ποσοστό επί της αξίας τους. Συνήθως το κόστος διατήρησης αποθεμάτων πρώτων υλών είναι ένα μικρό ποσοστό της αξίας τους (1-5 %). Για τα αποθέματα της περιόδου t , το κόστος αυτό βαρύνει την επόμενη χρονική περίοδο $t+1$ διότι τότε χρησιμοποιούνται.

Κόστος διατήρησης αποθέματος προϊόντος: Όπως και προηγουμένως, αυτό αποτελεί το ετήσιο κόστος διατήρησης αποθεμάτων ετοιμού προϊόντος (και όχι πρώτων υλών) ως ποσοστό επί της αξίας τους. Συνήθως το κόστος διατήρησης αποθεμάτων προϊόντων είναι ένα μικρό ποσοστό της αξίας τους (1-5%). Για τα αποθέματα προϊόντων της περιόδου t , το κόστος αυτό βαρύνει την επόμενη χρονική περίοδο $t+1$ διότι τότε πωλούνται. Η αξία των προϊόντων είναι το άμεσο κόστος παραγωγής τους. Αν την περίοδο t προκύπτουν αποθέματα ετοιμού προϊόντος αξίας 50,000 € τότε αν η παράμετρος αυτή παίρνει τιμή 3% σημαίνει ότι το κόστος διατήρησης αποθεμάτων που θα επιβαρύνει το κόστος παραγωγής της επόμενης περιόδου $t+1$ είναι 1,500 €.

Αποθηκευτικοί χώροι ως ποσοστό της δυναμικότητας: Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στη δυνατότητα που έχει η επιχείρηση να αποθηκεύει έτοιμα προϊόντα. Ορίζει τον αποθηκευτικό χώρο ως ποσοστό της συνολικής δυναμικότητας της μονάδας, έτσι ώστε να μην είναι απεριόριστος και να γίνουν πιο ρεαλιστικές οι συνθήκες προσομοίωσης. Αν για παράδειγμα ο συντελεστής αυτός οριστεί στο 50% και μια επιχείρηση εξαντλήσει τη δυναμικότητά της παράγοντας 10,000 τόνους (t) προϊόντος ετησίως και τελικά πουλήσει τους 3,000 t , τότε από τις 7,000 t που θα μείνουν απούλητοι, θα μπορεί να χρησιμοποιήσει ως απόθεμα έτοιμου προϊόντος τους 5,000 (=50% της δυναμικότητας) για το επόμενο έτος. Οι υπόλοιπες 2,000 μονάδες θα καταστραφούν.

3.3.2 Παράμετροι επενδύσεων

Οι παράμετροι αυτοί περιγράφουν ουσιαστικά την αξία του παραγωγικού εξοπλισμού. Στο συγκεκριμένο παιχνίδι, ο εξοπλισμός είναι διαθέσιμος σε τρεις κατηγορίες μονάδων: μονάδες μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, στο κόστος

του οποίου αποτυπώνονται οι υπάρχουσες οικονομίες κλίμακας (π.χ. είναι φθηνότερη μια μονάδα των 1000 t/year από δύο μονάδες των 500 t/year). Επειδή στο παιχνίδι υπάρχει και η δυνατότητα πώλησης παγίων, καθορίζεται από τον διαχειριστή ένας συντελεστής που εκφράζει τη μείωση της τιμής σε σχέση με την αγοραία, όταν πρόκειται να πωληθεί κάποιο πάγιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παράμετροι αυτοί μπορούν να αλλάζουν από το διαχειριστή του παιχνιδιού από περίοδο σε περίοδο. Επίσης οι παίκτες θα πρέπει να γνωρίζουν ότι ενώ οι μεγάλες μονάδες παρέχουν οικονομίες κλίμακας, οι μικρές μονάδες παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία σε ότι αφορά τη μελλοντική πώληση μονάδων αν υπάρχει πλεονάζουσα δυναμικότητα. Για το λόγο αυτό καλό θα είναι να τηρείται μια ισορροπία.

Οι παράμετροι οι οποίες αναφέρονται στις επενδύσεις είναι οι ακόλουθοι:

Μέγεθος μικρής μονάδας: Η παράμετρος αυτή καθορίζει το μέγεθος της μονάδας μικρού μεγέθους σε ετήσιες παραγόμενες μονάδες (π.χ. τόνοι/έτος) και είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Κόστος επένδυσης μικρής μονάδας: Αναφέρεται στο κόστος επένδυσης (σε €) για μια μονάδα μικρού μεγέθους και μπορεί να αλλάζει από το διαχειριστή από περίοδο σε περίοδο.

Μέγεθος μεσαίας μονάδας: Η παράμετρος αυτή καθορίζει το μέγεθος της μονάδας μεσαίου μεγέθους σε ετήσιες παραγόμενες μονάδες (π.χ. τόνοι/έτος) και είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Κόστος επένδυσης μεσαίας μονάδας: Αναφέρεται στο κόστος επένδυσης (σε €) για μια μονάδα μεσαίου μεγέθους και μπορεί να αλλάζει από τον διαχειριστή από περίοδο σε περίοδο.

Μέγεθος μεγάλης μονάδας: Η παράμετρος αυτή καθορίζει το μέγεθος της μονάδας μεγάλου μεγέθους σε ετήσιες παραγόμενες μονάδες (π.χ. τόνοι/έτος) και είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Κόστος επένδυσης μεγάλου μονάδας: Αναφέρεται στο κόστος επένδυσης (σε €) για μια μονάδα μεγάλου μεγέθους και μπορεί να αλλάζει από τον διαχειριστή από περίοδο σε περίοδο.

Συντελεστής απόσβεσης: Η συγκεκριμένη παράμετρος εκφράζει το συντελεστή απόσβεσης των παραγωγικών επενδύσεων τις οποίες έχει κάνει η επιχείρηση, ως ποσοστό επί του κόστους επένδυσης. Ο συντελεστής απόσβεσης θεωρείται σταθερός για όλες τις μονάδες (μικρές, μεσαίες και μεγάλες) και ουσιαστικά αποτελεί το λογιστικό κόστος το οποίο αφαιρείται κάθε χρόνο από τα φορολογητέα έσοδα.

Συντελεστής πώλησης παγίων: Εκφράζει το ποσοστό επί της αναπόσβεστης τιμής της με την οποία μπορεί να πωληθεί η κάθε μονάδα και είναι σταθερός για όλες τις μονάδες.

3.3.3 Χρηματοοικονομικές παράμετροι

Στην κατηγορία αυτοί εντάσσονται οι παράμετροι που έχουν να κάνουν με το δανεισμό της επιχείρησης, τις πιστώσεις που της παρέχουν οι προμηθευτές της και τα διοικητικά της έξοδα.

Πιστώσεις προμηθευτών: Με την παράμετρο αυτή καθορίζεται σε ποσοστό %, η πίστωση που παρέχουν οι προμηθευτές στην επιχείρηση. Έτσι για παράδειγμα αν η πίστωση είναι 10% τότε την τρέχουσα περίοδο η επιχείρηση πληρώνει το 90% του χρέους της στους προμηθευτές και το υπόλοιπο 10% μπορεί να το πληρώσει την επόμενη περίοδο άτοκα.

Επιτόκιο κεφαλαίου κίνησης: Αναφέρεται στο επιτόκιο του βραχυπρόθεσμου δανείου το οποίο καλύπτει τις τρέχουσες ανάγκες της επιχείρησης (κεφάλαιο κίνησης). Το δάνειο αυτό το αποπληρώνει η επιχείρηση την επόμενη περίοδο σε ότι αφορά το χρεωλύσιο ενώ την τρέχουσα περίοδο πληρώνει μόνο τους αντίστοιχους τόκους. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι με την παράμετρο αυτή καθορίζεται το βασικό επιτόκιο κεφαλαίου κίνησης το οποίο, σύμφωνα με το πρόγραμμα, σε κάθε περίοδο αυξομειώνεται ανάλογα με την τιμή της μετοχής της επιχείρησης σε σχέση με την αρχική. Όσο αυξάνει η τιμή της μετοχής τόσο μειώνεται το επιτόκιο βραχυπρόθεσμου. Με τον τρόπο αυτό αντικατοπτρίζεται το γεγονός ότι οι πιο εύρωστες οικονομικά επιχειρήσεις δανείζονται με καλύτερους όρους. Το βασικό βραχυπρόθεσμο επιτόκιο μπορεί να μεταβάλλεται από τον διαχειριστή του παιχνιδιού από περίοδο σε περίοδο.

Επιτόκιο μακροπρόθεσμων δανείων: Η εν λόγω παράμετρος εκφράζει το επιτόκιο μακροπρόθεσμων δανείων τα οποία αφορούν αποκλειστικά επενδύσεις σε παραγωγικό εξοπλισμό και είναι σταθερό για όλες τις περιόδους. Τα μακροπρόθεσμα δάνεια έχουν χαμηλότερο επιτόκιο απ'ότι τα βραχυπρόθεσμα και συνήθως αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα ποσά και μεγαλύτερους χρόνους αποπληρωμής.

Διάρκεια μακροπρόθεσμων δανείων: Όπως προαναφέρθηκε, το μακροπρόθεσμο δάνειο αποπληρώνεται σε περισσότερες από μία περιόδους για αυτό κι εδώ εισάγεται η διάρκεια του δανείου σε περιόδους (π.χ. έτη) η οποία είναι σταθερή για όλες τις περιόδους

Ανώτατο ποσό δανείου: Στο συγκεκριμένο παιχνίδι ορίζεται ένα ανώτατο ποσό μέχρι το οποίο μπορεί να δανεισθεί μια επιχείρηση σε σχέση με τα ίδια κεφάλαιά της.. Η συγκεκριμένη παράμετρος εκφράζει το ανώτατο αυτό ποσό δανεισμού (μακροπρόθεσμων + βραχυπρόθεσμων δανείων) ως ποσοστό επί των ιδίων κεφαλαίων της επιχείρησης σε κάθε περίοδο. Για παράδειγμα μια επιχείρηση με μετοχικό κεφάλαιο 1,500,000 € και ανώτατο ποσό δανείου το 80% δεν μπορεί να δανεισθεί πάνω από 1,200,000 € και για τους δύο τύπους δανείων.

Συντελεστής φορολογίας: Αποτελεί το συντελεστή με τον οποίο φορολογούνται τα κέρδη της επιχείρησης για να προκύψει το καθαρό κέρδος σε κάθε περίοδο.

Μεταβλητά έξοδα διοίκησης: Είναι η παράμετρος που εκφράζει το μεταβλητό μέρος των εξόδων διοίκησης της επιχείρησης δηλαδή αυτό που είναι ανάλογο με τον όγκο πωλήσεων και εκφράζεται ως ποσοστό επί των πωλήσεων.

Σταθερά έξοδα διοίκησης: Η συγκεκριμένη παράμετρος εκφράζει το σταθερό μέρος των εξόδων διοίκησης της επιχείρησης δηλαδή αυτό που είναι ανεξάρτητο από τον όγκο παραγωγής και στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ότι εξαρτάται από το ύψος των παγίων. Εδώ τα σταθερά έξοδα διοίκησης εκφράζονται ως ποσοστό επί του κόστους των παγίων.

3.4 Στοιχεία αγοράς

Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν το πλαίσιο της αγοράς και τις σχέσεις τις οποίες τη διέπουν. Σε ότι αφορά τις σχέσεις της αγοράς, θεωρείται ότι η ζήτηση του προϊόντος εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες: **την τιμή του προϊόντος, τη διαφημιστική δαπάνη, την πιστωτική πολιτική** και την καινοτομία που εκφράζεται με τις **δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης (R&D)**.

Με βάση την οικονομική θεωρία αυξάνοντας την τιμή του προϊόντος μειώνεται η ζήτηση του προϊόντος ενώ αντίθετα για τους άλλους τρεις παράγοντες αυξάνοντας την τιμή τους αυξάνεται και η ζήτηση του προϊόντος. Ειδικότερα οι δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης εκφράζουν την τεχνολογική υπεροχή και το βαθμό διαφοροποίησης του προϊόντος. Κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες μπορεί να έχει διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας ως προς τη διαμόρφωση της τελικής ζήτησης, ανάλογα με τις τιμές που θέτει ο διαχειριστής του παιχνιδιού στις αντίστοιχες παραμέτρους ευαισθησίας της αγοράς. Έτσι, αρχικά, αξιολογείται και ιεραρχείται ο βαθμός επίδρασης που έχουν τα τέσσερα αυτά χαρακτηριστικά (π.χ. πρώτα η τιμή μετά η διαφημιστική δαπάνη κλπ) και στη συνέχεια αποδίδονται τιμές στους σχετικούς συντελεστές βαρύτητας οι οποίοι πρέπει να συμφωνούν με τη συγκριτική αξιολόγηση.

Επιπλέον, για κάθε έναν από τους τέσσερις παράγοντες υπάρχει μια ξεχωριστή συνάρτηση ζήτησης που εκφράζει τη μεταβολή της ζήτησης του προϊόντος ως προς τον συγκεκριμένο παράγοντα θεωρώντας ότι οι υπόλοιποι τρεις παραμένουν σταθεροί. Η συνάρτηση ζήτησης μπορεί να είναι είτε ευθεία είτε καμπύλη (κυρτή ή κοίλη) ανάλογα με την τιμή που δίνει ο διαχειριστής του παιχνιδιού σε συγκεκριμένη παράμετρο.

Συνθέτοντας το πλαίσιο της αγοράς, εισάγονται ορισμένα όρια τα οποία προσδιορίζουν τις ακραίες τιμές που μπορεί να λάβουν συγκεκριμένες παράμετροι., όπως για παράδειγμα: η ανώτατη και κατώτατη τιμή πώλησης, το ελάχιστο και μέγιστο των συνολικών πωλήσεων (ανελαστικό τμήμα και θεωρητικό μέγεθος της αγοράς αντίστοιχα). Τέλος, προκειμένου να επιτευχθεί μια περισσότερο ρεαλιστική απεικόνιση της πραγματικότητας, υπάρχουν κάποιες παράμετροι που εμποδίζουν τις έντονες διακυμάνσεις από περίοδο σε περίοδο. Ουσιαστικά οι παράμετροι αυτοί

ποσοτικοποιούν την αδράνεια που υπάρχει σε μια αγορά στην οποία οι αλλαγές γίνονται σταδιακά και όχι απότομα. Η αδράνεια αυτή εκφράζεται με τη βοήθεια άνω και κάτω ορίων εντός των οποίων μπορεί να μεταβάλλεται η πορεία μιας επιχείρησης από περίοδο σε περίοδο.

Οι σχετικοί παράμετροι που καθορίζονται από τον διαχειριστή του παιχνιδιού, είναι οι ακόλουθοι

Άνω και κάτω όριο τιμής πώλησης: Θέτουν το εύρος μέσα στο οποίο οι παίκτες μπορούν να θέσουν την τιμή πώλησης του προϊόντος σε κάθε περίοδο.

Άνω όριο διαφημιστικής δαπάνης: Η παράμετρος αυτή καθορίζει το ανώτατο ποσό που μπορεί να διαθέσει μια επιχείρηση για διαφήμιση.

Άνω όριο πίστωσης: Αφορά το ανώτατο ποσοστό πίστωσης που μπορεί να δώσει η επιχείρηση στους πελάτες της.

Άνω όριο δαπανών έρευνας και ανάπτυξης: Οι δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης της επιχείρησης δεν είναι απεριόριστες και εδώ τίθεται η παράμετρος που τις περιορίζει

Κάτω όριο ζήτησης: Είναι το ανελαστικό τμήμα της αγοράς, δηλαδή το κατώφλι πάνω από το οποίο κυμαίνονται οι πωλήσεις.

Άνω όριο ζήτησης: Εκφράζει το θεωρητικό μέγεθος της αγοράς ή αλλιώς το δυναμικό της αγοράς (ανώτατο όριο πωλήσεων).

Μέγιστη αύξηση των πωλήσεων: Η παράμετρος αυτή καθορίζει το μέγιστο ποσοστό (%) αύξησης στα έσοδα των πωλήσεων μιας επιχείρησης από περίοδο σε περίοδο. Συγκεκριμένα αν τα έσοδα των πωλήσεων μιας επιχείρησης, με βάση τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού, βρεθεί ότι πρέπει να αυξηθούν κατά 80% και η παράμετρος αυτή έχει την τιμή 50%, τότε οι πωλήσεις θα αυξηθούν κατά 50% (και όχι κατά 80%).

Μέγιστη πτώση των πωλήσεων: Κατά ανάλογο τρόπο, υπάρχει μία μέγιστη τιμή για την πιθανή πτώση των εσόδων των πωλήσεων μιας επιχείρησης από περίοδο σε περίοδο, η οποία εκφράζεται ως ποσοστό (%) και φέρει αρνητικό πρόσημο έτσι ώστε να υποδηλώνει την πτώση των πωλήσεων. Για παράδειγμα -30% σημαίνει ότι οι

πωλήσεις την τρέχουσα περίοδο δεν μπορεί να πέσουν περισσότερο από 30% σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, δηλαδή οι ελάχιστες πωλήσεις θα είναι το 70% της προηγούμενης περιόδου.

Ευαισθησία αγοράς ως προς την τιμή: Η παράμετρος αυτή καθορίζει τη σχετική σημαντικότητα του παράγοντα τιμή σε σχέση με τους άλλους τρεις παράγοντες, ως προς τη διαμόρφωση του μεριδίου αγοράς της επιχείρησης. Η παράμετρος παίρνει τιμές από 0 ως 1 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίστοιχη σχετική σημαντικότητα.

Ευαισθησία αγοράς ως προς τη διαφήμιση: Η παράμετρος αυτή καθορίζει τη σχετική σημαντικότητα του παράγοντα διαφημιστική δαπάνη σε σχέση με τους άλλους τρεις παράγοντες ως προς τη διαμόρφωση του μεριδίου αγοράς της επιχείρησης. Η παράμετρος λαμβάνει τιμές από 0 ως 1 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίστοιχη σχετική σημαντικότητα.

Ευαισθησία αγοράς ως προς την πίστωση: Η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει τη σχετική σημαντικότητα του παράγοντα πιστωτική πολιτική σε σχέση με τους άλλους τρεις, στη διαμόρφωση του μεριδίου αγοράς της επιχείρησης. Ο παράγοντας πιστωτική πολιτική ποσοτικοποιείται με το ποσοστό επί της παρεχόμενης πίστωσης στους πελάτες. Η παράμετρος αυτή καθορίζει κατά πόσο η παροχή πιστώσεων προς την αγορά διαδραματίζει μικρό ή μεγάλο ρόλο στη διεκδίκηση μεγάλου μεριδίου αγοράς από μια επιχείρηση. Γεγονός το οποίο συμβαίνει συνήθως σε ανταγωνιστικά καταναλωτικά προϊόντα υπό συνθήκες οικονομικής δυσπραγίας όπου οι χρηματοδοτικοί όροι (παροχή πίστωσης) λαμβάνονται σοβαρά υπόψη από τον καταναλωτή. Η παράμετρος παίρνει τιμές από 0 ως 1 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίστοιχη σχετική σημαντικότητα.

Ευαισθησία αγοράς ως προς την τεχνολογία: Η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει τη σχετική σημαντικότητα του παράγοντα «τεχνολογία» σε σχέση με τους άλλους τρεις, στη διαμόρφωση του μεριδίου αγοράς της επιχείρησης. Ο παράγοντας «τεχνολογία» ποσοτικοποιείται με το ποσό που διαθέτει η κάθε επιχείρηση για δαπάνες Έρευνας και Ανάπτυξης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσό αυτό τόσο πιο τεχνολογικά αναβαθμισμένο θεωρείται το προϊόν. Υπάρχει πάντως ένα άνω όριο στις δαπάνες Έρευνας και Ανάπτυξης και κάθε ευρώ πάνω από το όριο αυτό δεν

συνεισφέρει στην αύξηση του μεριδίου αγοράς. Η παράμετρος παίρνει τιμές από 0 ως 1 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίστοιχη σχετική σημαντικότητα.

Κλίση καμπύλης ζήτησης ως προς την τιμή: Εδώ ορίζεται η παράμετρος που καθορίζει τη μορφή και την κλίση της συνάρτησης ζήτησης ως προς την τιμή. Η εν λόγω συνάρτηση ζήτησης είναι φθίνουσα (αυξανομένης της τιμής μειώνεται η ζήτηση) και ανάλογα με την τιμή που παίρνει η παράμετρος κλίσης p , η συνάρτηση ζήτησης μπορεί να είναι κοίλη ($p < 0$), κυρτή ($p > 0$) ή ευθεία γραμμή ($p = 0.001$). Περισσότερες λεπτομέρειες δίδονται στη συνέχεια, στο κεφάλαιο περί διαμόρφωσης της αγοράς.

Κλίση καμπύλης ζήτησης ως προς τη διαφήμιση: Εκφράζει την παράμετρο που καθορίζει τη μορφή και την κλίση της συνάρτησης ζήτησης ως προς τη διαφημιστική δαπάνη. Η συγκεκριμένη συνάρτηση είναι αύξουσα (αυξανομένης της διαφήμισης αυξάνεται και η ζήτηση) και ανάλογα με την τιμή που παίρνει η παράμετρος κλίσης p , η συνάρτηση ζήτησης ως προς τη διαφημιστική δαπάνη μπορεί να είναι κοίλη ($p < 0$), κυρτή ($p > 0$) ή ευθεία γραμμή ($p = 0.001$). Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στη συνέχεια, στο κεφάλαιο περί διαμόρφωσης της αγοράς.

Κλίση καμπύλης ζήτησης ως προς την πίστωση: Εδώ ορίζεται η παράμετρος που καθορίζει τη μορφή και την κλίση της συνάρτησης ζήτησης ως προς τις παρεχόμενες πιστώσεις στους πελάτες. Η συνάρτηση αυτή είναι αύξουσα (αυξανομένης της πίστωσης αυξάνεται και η ζήτηση) και ανάλογα με την τιμή που παίρνει η παράμετρος κλίσης p , η συνάρτηση ζήτησης ως προς τη διαφημιστική δαπάνη μπορεί να είναι κοίλη ($p < 0$), κυρτή ($p > 0$) ή ευθεία γραμμή ($p = 0.001$). Περισσότερες λεπτομέρειες δίδονται στη συνέχεια, στο κεφάλαιο περί διαμόρφωσης της αγοράς.

Κλίση καμπύλης ζήτησης ως προς τις δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης: Η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει τη μορφή και την κλίση της συνάρτησης ζήτησης ως προς τις δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης. Η συνάρτηση ζήτησης ως προς τις δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης είναι αύξουσα (αυξανομένων των δαπανών έρευνας και ανάπτυξης αυξάνεται και η ζήτηση) και ανάλογα με την τιμή που παίρνει η παράμετρος κλίσης p , η συνάρτηση μπορεί να είναι κοίλη ($p < 0$), κυρτή ($p > 0$) ή

ευθεία γραμμή ($p=0.001$). Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στη συνέχεια, στο κεφάλαιο περί διαμόρφωσης της αγοράς.

Συντελεστής τυχαίου στοιχείου στη διαμόρφωση της αγοράς: Η συγκεκριμένη παράμετρος καθορίζει το ποσοστό της τυχαιότητας στη διαμόρφωση των πωλήσεων κάθε επιχείρησης. Είναι κοινό για όλες τις επιχειρήσεις και κυμαίνεται από 0% (καθόλου τυχαιότητα) ως 20% (σχετικά μεγάλη τυχαιότητα.. Αν οι θεωρητικές πωλήσεις μιας επιχείρησης είναι 10,000 μονάδες και ο συντελεστής τυχαίου στοιχείου της αγοράς ορίζεται σε 10%, τότε οι πωλήσεις της επιχείρησης θα δίνονται από την ακόλουθη σχέση: $10,000 \times (1 + 10\% \times (rand - 0.5) / 0.5)$ όπου $rand$ ένας τυχαίος αριθμός στο $[0,1]$.

3.5 Ειδικές παράμετροι αποφάσεων (αποφάσεις παικτών)

Οι ειδικές παράμετροι όπως προαναφέρθηκε, αντιπροσωπεύουν τις αποφάσεις των παικτών και αφορούν την επιχείρησή τους. Οι παράμετροι αυτοί εισάγονται σε κάθε περίοδο από τους παίκτες και σχετίζονται με τις πωλήσεις, την παραγωγή και τη χρηματοδότηση της επιχείρησής τους.

3.5.1 Αποφάσεις που αφορούν τις πωλήσεις

Τιμή προϊόντος: Η τιμή στην οποία αποφασίζει η επιχείρηση να πωλήσει το προϊόν της (εκφρασμένη σε €/μονάδα προϊόντος).

Διαφημιστική δαπάνη: Το ποσό της διαφημιστικής δαπάνης που είναι διατεθειμένη η επιχείρηση να ξοδέψει στην τρέχουσα περίοδο (€).

Πίστωση πελατών: Το ποσοστό της πίστωσης προς τους πελάτες που είναι διατεθειμένη να προσφέρει (%).

Εκτιμήσεις για τις πωλήσεις της τρέχουσας περιόδου: Στο σημείο αυτό, η επιχείρηση εισάγει την εκτίμησή της για τις πωλήσεις που θα πετύχει την τρέχουσα περίοδο, εκφρασμένη σε μονάδες προϊόντος. Οι εκάστοτε εκτιμήσεις είναι απλώς

προβλέψεις και δεν ταυτίζονται με τις πραγματικές πωλήσεις που θα πετύχει η επιχείρηση στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς. Βοηθούν ωστόσο να καταστρωθεί ένα απλό επιχειρηματικό σχέδιο (business plan) για την τρέχουσα περίοδο και να ληφθούν ορισμένες αναφορές οι οποίες παρουσιάζουν την οικονομική κατάσταση της επιχείρησης *εάν πραγματοποιηθούν οι εκτιμώμενες πωλήσεις*. Ελέγχοντας τις αναφορές αυτές, οι παίκτες μπορούν να αναθεωρήσουν κάποιες αποφάσεις τους μέχρις ότου να οριστικοποιήσουν τις αποφάσεις τους και να τις στείλουν στο διαχειριστή του παιχνιδιού.

3.5.2 Αποφάσεις που αφορούν την παραγωγή

Ποσότητα παραγωγής: Πόσες μονάδες προϊόντος θα παραχθούν στις εγκαταστάσεις της επιχείρησης την τρέχουσα περίοδο. Η ποσότητα αυτή μπορεί να είναι και μηδενική (καθόλου παραγωγή την τρέχουσα περίοδο). Αν όμως η ποσότητα αυτή είναι μη μηδενική τότε δεν μπορεί να είναι μικρότερη από το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας που ορίζεται ως το 30% της ονομαστικής της δυναμικότητας.

Ποσότητα αγοράς πρώτων υλών: Η ποσότητα των πρώτων υλών που θα αγοράσει η επιχείρηση την τρέχουσα περίοδο.

Δαπάνες Έρευνας & Ανάπτυξης: Είναι οι δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης που θα πραγματοποιήσει η επιχείρηση την τρέχουσα περίοδο.

3.5.3 Αποφάσεις που αφορούν τις επενδύσεις

Αριθμός μικρών μονάδων: Είναι ο αριθμός των μονάδων μικρής δυναμικότητας που θα κατασκευάσει και θα χρησιμοποιήσει η επιχείρηση στην παραγωγή της στην τρέχουσα περίοδο. Αν ο αριθμός αυτός είναι αρνητικός σημαίνει ότι η επιχείρηση θα πουλήσει τον αντίστοιχο αριθμό μικρών μονάδων στην τρέχουσα περίοδο εξαιτίας συσσωρευμένης πλεονάζουσας δυναμικότητας.

Αριθμός μεσαίων μονάδων: Είναι ο αριθμός των μονάδων μεσαίας δυναμικότητας που θα κατασκευάσει και θα χρησιμοποιήσει η επιχείρηση στην παραγωγή της στην

τρέχουσα περίοδο. Αν ο αριθμός αυτός είναι αρνητικός σημαίνει ότι η επιχείρηση θα πουλήσει τον αντίστοιχο αριθμό μεσαίων μονάδων στην τρέχουσα περίοδο.

Αριθμός μεγάλων μονάδων: Είναι ο αριθμός των μονάδων μεγάλης δυναμικότητας που θα κατασκευάσει και θα χρησιμοποιήσει η επιχείρηση στην παραγωγή της στην τρέχουσα περίοδο. Αν ο αριθμός αυτός είναι αρνητικός σημαίνει ότι η επιχείρηση θα πουλήσει τον αντίστοιχο αριθμό μεγάλων μονάδων στην τρέχουσα περίοδο.

3.5.4 Αποφάσεις που αφορούν τη χρηματοδότηση

Δάνειο παγίου κεφαλαίου: Η παράμετρος αυτή εκφράζει το ποσό που προτίθεται η επιχείρηση να δανειστεί με μακροπρόθεσμο δανεισμό, προκειμένου να χρηματοδοτήσει τις επενδύσεις της. Αν ο αριθμός αυτός είναι αρνητικός σημαίνει ότι η επιχείρηση θέλει να προχωρήσει σε προεξόφληση (μερική ή ολική) του μακροπρόθεσμου δανείου προκειμένου να βελτιώσει τον δείκτη διάρθρωσης (Ίδια Κεφάλαια/ Σύνολο Κεφαλαίων). Για να γίνει αυτό όμως πρέπει να έχει την απαιτούμενη ρευστότητα.

Δάνειο κεφαλαίου κίνησης: Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στο ποσό που προτίθεται η επιχείρηση να δανειστεί με βραχυπρόθεσμο δανεισμό, προκειμένου να χρηματοδοτήσει τις τρέχουσες ανάγκες της τη συγκεκριμένη περίοδο, εκφρασμένη σε €.

4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1 Σκοπός και αντικείμενο

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού για τη μελέτη και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς και των αποφάσεων που λαμβάνει μια επιχείρηση κατά τη διάρκεια ενός επιχειρηματικού παιχνιδιού (business game). Συγκεκριμένα, θα αποτυπωθούν στο μοντέλο Μαθηματικού Προγραμματισμού οι κανόνες του business game όσο πιο ρεαλιστικά και αξιόπιστα γίνεται. Στη συνέχεια, επιλύοντας το μοντέλο, προκύπτουν οι βέλτιστες αποφάσεις που καλείται να λάβει η επιχείρηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή τα αποτελέσματα σε κάθε γύρο του παιχνιδιού δεν εξαρτώνται μόνο από την ίδια την επιχείρηση αλλά και από τη συμπεριφορά των υπόλοιπων επιχειρήσεων που συμμετέχουν και δραστηριοποιούνται στον ίδιο κλάδο. Το μοντέλο του μαθηματικού προγραμματισμού ουσιαστικά προσδιορίζει τις βέλτιστες αποφάσεις με βάση την τρέχουσα πληροφόρηση. Όταν τα αποτελέσματα της κάθε περιόδου γίνονται γνωστά, τότε η επιχείρηση έχει τα δεδομένα για να προχωρήσει σε ένα νέο κύκλο αποφάσεων που προκύπτουν από μία νέα βελτιστοποίηση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται ως κριτήριο βελτιστοποίησης η μεγιστοποίηση των κερδών της επιχείρησης, σε συνθήκες αβεβαιότητας ως προς την πορεία που θα ακολουθήσουν οι πωλήσεις του προϊόντος μας, εξετάζοντας έξι πιθανά σενάρια ως προς αυτές. Στη συνέχεια, εξετάζουμε τις έξι βέλτιστες λύσεις που θα προκύψουν και επιλέγουμε υποκειμενικά μία από αυτές σύμφωνα με το κριτήριο αβεβαιότητας που επιλέγουμε να εμπιστευθούμε.

Βασικό ρόλο στην προσέγγιση του προβλήματος παίζει η μοντελοποίηση της συνάρτησης ζήτησης η οποία εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες: την τιμή του προϊόντος μας, τη διαφημιστική δαπάνη που θα επιλέξουμε, την πίστωση που θα δώσουμε στους πελάτες μας και τις δαπάνες έρευνας και ανάπτυξης (R&D). Αυτοί οι τέσσερις παράγοντες είναι και οι βασικές μας μεταβλητές απόφασης, τις βέλτιστες τιμές των οποίων αναμένουμε να μας δώσει το μοντέλο που αναπτύσουμε. Μία

πρωτοτυπία της παρούσας προσέγγισης είναι ότι, προκειμένου να διατηρήσουμε τη γραμμικότητα του μοντέλου, διακριτοποιούμε τη συνάρτηση ζήτησης, χρησιμοποιώντας κατάλληλες δυαδικές μεταβλητές, με τρόπο που θα εξηγηθεί αναλυτικά παρακάτω.

4.2 Μοντελοποίηση συνάρτησης ζήτησης

Καταρχήν, κάθε ένας από τους τέσσερις παράγοντες, κανονικοποιείται γραμμικά στο διάστημα $[0,1]$ με βάση την καλύτερη και τη χειρότερη τιμή που μπορεί να πάρει στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Για την τιμή του προϊόντος, η εξίσωση κανονικοποίησης έχει τη μορφή:

$$X = \frac{A^{max} - A}{A^{max} - A^{min}} \quad (4.1)$$

Δηλαδή, όσο χαμηλότερη είναι η τιμή, τόσο πλησιέστερα στη μονάδα είναι το x . Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για την τιμή του προϊόντος είναι 200 €/tn και 500 €/tn αντίστοιχα.

Για τους άλλους τρεις παράγοντες (διαφημιστική δαπάνη, πίστωση και δαπάνες R&D), η εξίσωση κανονικοποίησης έχει τη μορφή:

$$X = \frac{A - A^{min}}{A^{max} - A^{min}} \quad (4.2)$$

Δηλαδή όσο υψηλότερη είναι η τιμή, τόσο πλησιέστερα στη μονάδα. Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές για τους παράγοντες αυτούς είναι αντίστοιχα.

Διαφημιστική δαπάνη: 20.000€ και 200.000€

Πίστωση: 0% και 50%

Δαπάνες R&D: 10.000€ και 50.000€

Στη συνέχεια σε κάθε παράγοντα υπάρχει η δυνατότητα έκφρασης του με μία μη γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$y = \frac{1 - e^{k \cdot x}}{1 - e^k} \quad (4.3)$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι συντελεστές k είναι 3,-4,-3,2 για την τιμή του προϊόντος, τη διαφημιστική δαπάνη, την πίστωση και τις δαπάνες R&D αντίστοιχα.

Η συνάρτηση της ζήτησης αποκτά τελικά την εξής μορφή:

$$Q = Q_{min} + (Q_{max} - Q_{min}) \cdot \prod_{i=1}^4 \left(\frac{1 - e^{k_i \cdot x_i}}{1 - e^{k_i}} \right) \quad (4.4)$$

Όπου Q οι πωλήσεις σε tn , Q_{min} , Q_{max} η ελάχιστη και μέγιστη ζήτηση αντίστοιχα, i οι τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση και a_i ο αντίστοιχος εκθέτης που εκφράζει τη ζήτηση του κάθε όρου στο γινόμενο. Τα a_i είναι ουσιαστικά οι συντελεστές βαρύτητας σε εκθετική μορφή του καθενός από τους τέσσερις παράγοντες.

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (4.4), η σχέση που συνδέει τις πωλήσεις με τους τέσσερις παράγοντες (που είναι οι μεταβλητές απόφασης του μοντέλου) είναι μη γραμμική. Επίσης, τα έσοδα των πωλήσεων υπολογίζονται ως το γινόμενο (τιμή×ποσότητα), δηλαδή είναι γινόμενο δύο μεταβλητών απόφασης. Βλέπουμε δηλαδή ότι το μαθηματικό μοντέλο που προκύπτει είναι μη γραμμικό ως προς τις μεταβλητές απόφασης. Προκειμένου λοιπόν να το προσεγγίσουμε με ένα γραμμικό μοντέλο, καταφεύγουμε στην αρχή της διακριτοποίησης και τη χρήση δυαδικών μεταβλητών. Συγκεκριμένα, επιμερίζουμε το εύρος των τιμών των τεσσάρων παραγόντων σε $n_i - 1$ διαστήματα ($i=1,2,3,4$) επιλέγοντας n_i τιμές. Για κάθε συνδυασμό τιμών από τους τέσσερις παράγοντες προσδιορίζουμε τις συνολικές πωλήσεις από την εξίσωση (4.4). Ο αριθμός των συνδυασμών αυτών είναι $n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4$. Η διακριτοποίηση που πραγματοποιήσαμε στους τέσσερις παράγοντες μας, φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4.1 : Διακριτοποιημένες τιμές των τεσσάρων μεταβλητών απόφασης

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	n_i	ΔΙΑΚΡΙΤΕΣ ΤΙΜΕΣ
Τιμή προϊόντος	9	200, 240, 280, 320, 360, 400, 440, 480, 500
Διαφημιστική δαπάνη	5	20.000, 50.000, 100.000, 150.000, 200.000
Πίστωση στους πελάτες	4	0% , 10% , 25% , 50%
Δαπάνες R&D	3	20.000, 50.000, 100.000

Συνολικά προκύπτουν $9 \times 5 \times 4 \times 3 = 540$ συνδιασμοί των οποίων οι τιμές υπάρχουν στο παράρτημα. Για κάθε έναν από τους 540 συνδιασμούς υπολογίζονται από την εξίσωση (4) οι συνολικές πωλήσεις. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να εκφράσουμε τις πωλήσεις ως:

$$Q = q_1 B_1 + q_2 B_2 + \dots + q_{540} B_{540} \quad (4.5)$$

Όπου q_i είναι οι πωλήσεις που αντιστοιχούν στο συνδιασμό i και B_i η δυαδική μεταβλητή απόφασης που εκφράζει την επιλογή ($B_i = 1$) ή όχι ($B_i = 0$) του συνδιασμού i . Επίσης, επειδή οι συνδιασμοί αυτοί είναι αμοιβαία αλληλοαποκλειόμενοι, υπάρχει στο μοντέλο και ένας περιορισμός της μορφής:

$$B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_{540} = 1 \quad (4.6)$$

Με λίγα λόγια, μόνο μία από τις 540 τιμές της δυαδικής μεταβλητής παίρνει την τιμή «1» τη φορά, ενώ οι 539 υπόλοιπες παίρνουν την τιμή «0».

Έτσι, ουσιαστικά οι μεταβλητές απόφασης που εκφράζουν την τιμή του προϊόντος, τη διαφημιστική δαπάνη, την πίστωση στους πελάτες και τις δαπάνες R&D, αντικαθίστανται από τις δυαδικές μεταβλητές απόφασης B_i που εκφράζουν πλέον συνδιασμούς τιμών των διαφόρων παραγόντων. Οι τιμές των μεταβλητών απόφασης προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις του μοντέλου:

$$\text{Τιμή} \quad PR = p_1 \times B_1 + p_2 \times B_2 + \dots + p_{540} \times B_{540} \quad (4.7)$$

$$\text{Διαφημιστική δαπάνη} \quad AD = ad_1 \times B_1 + ad_2 \times B_2 + \dots + ad_{540} \times B_{540} \quad (4.8)$$

$$\text{Πίστωση} \quad CR = cr_1 \times B_1 + cr_2 \times B_2 + \dots + cr_{540} \times B_{540} \quad (4.9)$$

$$\text{Δαπάνες R\&D} \quad RD = rd_1 \times B_1 + rd_2 \times B_2 + \dots + rd_{540} \times B_{540} \quad (4.10)$$

Με τον ίδιο τρόπο αντιμετωπίζεται και η μεταβλητή που εκφράζει τα έσοδα από τις πωλήσεις. Επειδή ακριβώς ελφράζεται από μία μη γραμμική εξίσωση δύο μεταβλητών απόφασης ($P \times Q$), αντικαθίσταται στο μοντέλο από τη σχέση:

$$\text{INCOM} = r_1 \times B_1 + r_2 \times B_2 + \dots + r_{540} \times B_{540} \quad (4.11)$$

Όπου r_i είναι τα έσοδα από τις πωλήσεις για το συνδιασμό i , δηλαδή $r_i = p_i \times q_i$.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι, μεταβλητές απόφασης και περιορισμοί που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο καθώς και οι εξισώσεις που συνδέουν όλα τα παραπάνω.

4.3 Παράμετροι και μεταβλητές

Στο μοντέλο οι παράμετροι συμβολίζονται με μικρά γράμματα. Έχουν εισαχθεί με μία ορισμένη τιμή η οποία θεωρείται δεδομένη και δε μπορεί να αλλάξει. Αυτές οι παράμετροι, αφορούν κυρίως συντελεστές, που σε συνδιασμό με τις προκύπτουσες μεταβλητές, μας δίνουν τα διάφορα κόστη. Με έντονα γράμματα συμβολίζουμε παρακάτω, αυτές τις παραμέτρους και δεξιά δίνουμε την τιμή που τους έχουμε δώσει εντός των δύο καθέτων, όπως δηλαδή το συμβολίζουμε και σε γλώσσα GAMS.

4.3.1 Παράμετροι μοντέλου

rmpr Κόστος πρώτων υλών /150/

rmstc Συντελεστής κόστους αποθήκευσης πρώτων υλών (% της ποσότητας των πρώτων υλών) /0.05/

inves Κόστος επένδυσης για μικρή μονάδα /150000/
invcn Κόστος επένδυσης για μεσαία μονάδα /400000/
invcb Κόστος επένδυσης για μεγάλη μονάδα /800000/
nlabc Κόστος εργατικών (% της παραγωγής) /30/
otlbc Κόστος υπερωριακών εργατικών (% της παραγωγής) /50/
ovhclc Συντελεστής κόστους overhead παραγωγής /0.5/
ovhcinv Συντελεστής κόστους overhead επένδυσης /0.05/
deprc Συντελεστής απόσβεσης /0.1/
fpstc Συντελεστής κόστους αποθήκευσης έτοιμου προϊόντος (% της ποσότητας του έτοιμου προϊόντος) /0.02/
admnc Συντελεστής του κόστους διοίκησης σχετιζόμενου με τις πωλήσεις /0.1/
admfxc Συντελεστής του κόστους διοίκησης σχετιζόμενου με την πάγια επένδυση /0.05/
ltintr Επιτόκιο μακροχρόνιου δανείου /0.12/
stintr Επιτόκιο βραχυχρόνιου δανείου /0.15/
spb Τιμή πώλησης μεγάλης μονάδας /135000/
spm Τιμή πώλησης μεσαίας μονάδας /360000/
sps Τιμή πώλησης μικρής μονάδας /720000/
taxf Συντελεστής φορολογίας /0.35/
super Πίστωση προμηθευτή /0.1/
crf Συντελεστής ετήσιου ισοδύναμου ανάκτησης κεφαλαίου (capital recovery factor) /0.163/
wp Συντελεστής βαρύτητας κέρδους /0.7/
pdun Κόστος μονάδας έτοιμου προϊόντος

Για τη διατήρηση της γραμμικότητας το κόστος μονάδας έτοιμου προϊόντος υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$pdun=1.1*(0.8*nlabc+0.2*otlbc+rmprr) \quad (4.12)$$

4.3.2 Συνεχείς μεταβλητές απόφασης

- Κύριες μεταβλητές απόφασης

Είναι οι βασικές μεταβλητές απόφασης για τις οποίες ο παίχτης-χρήστης καλείται να δώσει τιμές. Από την τιμή που δίνει σε αυτές τις μεταβλητές, προκύπτουν με τις ανάλογες εξισώσεις που περιγράφονται στη συνέχεια και οι υπόλοιπες (προκύπτουσες μεταβλητές).

AD Κόστος διαφήμισης

PR Τιμή πώλησης έτοιμου προϊόντος

CR Πίστωση που δίνεται στους πελάτες

RM Ποσότητα πρώτων υλών που πρέπει να αγοραστούν

RD Δαπάνες που αφορούν την έρευνα και ανάπτυξη

PD Ποσότητα παραγωγής μονάδων έτοιμου προϊόντος

LL Ύψος δανείου πάγιας επένδυσης (μακροχρόνια δάνεια)

SL Ύψος δανείου κίνησης (βραχυχρόνια δάνεια)

- Προκύπτουσες μεταβλητές απόφασης

Είναι οι μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο και ουσιαστικά η τιμή τους προκύπτει μέσω των κατάλληλων εξισώσεων από τις τιμές που λαμβάνουν οι κύριες μεταβλητές απόφασης και οι αντίστοιχες παράμετροι.

RMTOTC	Κόστος πρώτων υλών που αγοράστηκαν
RMST0	Ποσότητα πρώτων υλών από προηγούμενες περιόδους και που διατίθενται για την εκάστοτε περίοδο που εφαρμόζεται το μοντέλο
RMSTN	Ποσότητα πρώτων υλών που θα αποθηκευτούν για να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη περίοδο
CAPNEW	Καινούρια δυναμικότητα, έτοιμη για λειτουργία
CAPEX	Υπάρχουσα δυναμικότητα από προηγούμενες περιόδους
CAP	Συνολική δυναμικότητα
BEQCOST	Κόστος καινούριου εξοπλισμού
NPD	Κανονική παραγωγή (σε μονάδες προϊόντος)
OTPD	Υπερωριακή παραγωγή (σε μονάδες προϊόντος)
LABC	Συνολικό εργατικό κόστος της περιόδου
OVHDC	Συνολικό κόστος overhead της περιόδου
PDC	Συνολικό κόστος παραγωγής
SCOST	Κόστος παραγωγής των προϊόντων που πωλήθηκαν
FPST0	Ποσότητα έτοιμου προϊόντος από προηγούμενη περίοδο
FPSTN	Ποσότητα προϊόντος που θα αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί σε επόμενη περίοδο
ADMIN	Συνολικά έξοδα διοίκησης της περιόδου
DEPR	Συνολική απόσβεση
PRBT	Προ φόρων κέρδη
LOSS	Ζημία χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η φορολογία
LTLN	Συνολικό ποσό μακροπρόθεσμου δανείου που εξυπηρετείται την τρέχουσα περίοδο

LL0	Υπάρχον δάνειο πάγιας επένδυσης
LLN	Ύψος μακροπρόθεσμου δανείου που θα μεταφερθεί στην επόμενη περίοδο
INTRST	Συνολικό ποσό που αφορά σε τόκους δανείων
DIV	Μέρισμα
TRSR	Αποθεματικό
SEQREV	Έσοδα από πωλήσεις εξοπλισμού
INFLOW	Συνολικά έσοδα
OUTFLOW	Συνολικά έξοδα
GARBG	Προϊόν που καταστρέφεται επειδή δε χωράει να αποθηκευτεί για χρήση σε επόμενη περίοδο
PYCR	Πιστώσεις που δόθηκαν σε πελάτες την προηγούμενη περίοδο και πρέπει να εισπραχθούν στην τρέχουσα περίοδο
PYRMCR	Πιστώσεις που μας δόθηκαν από τους προμηθευτές μας την προηγούμενη περίοδο και πρέπει να εξοφλήσουμε στην τρέχουσα
CASH0	Αρχικά χρήματα που υπάρχουν στο ταμείο
CASH	Χρήματα που μένουν στο τέλος της περιόδου στο ταμείο
ASALES	Πραγματικές πωλήσεις προϊόντος, οι οποίες αποτελούν την ελάχιστη τιμή των θεωρητικών πωλήσεων και της παραγωγής
TSALES	Θεωρητικές πωλήσεις που αναμένονται σύμφωνα με το μοντέλο

4.3.3 Ακέραιες μεταβλητές απόφασης

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι μεταβλητές που λαμβάνουν μέρος στο μοντέλο και μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Το γεγονός αυτό οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στη φύση των μεγεθών που παριστάνουν (συναλλαγές εξοπλισμού).

- Κύριες ακέραιες μεταβλητές απόφασης:

USB Μεγάλες μονάδες παραγωγής που πωλήθηκαν

USM Μεσαίες μονάδες παραγωγής που πωλήθηκαν

USS Μικρές μονάδες παραγωγής που πωλήθηκαν

UBB Μεγάλες μονάδες παραγωγής που αγοράστηκαν

UBM Μεσαίες μονάδες παραγωγής που αγοράστηκαν

UBS Μικρές μονάδες παραγωγής που αγοράστηκαν

- Προκύπτουσες ακέραιες μεταβλητές απόφασης:

UXB Υπάρχουσες και έτοιμες για λειτουργία μεγάλες μονάδες παραγωγής

UXM Υπάρχουσες και έτοιμες για λειτουργία μεσαίες μονάδες παραγωγής

UXS Υπάρχουσες και έτοιμες για λειτουργία μικρές μονάδες παραγωγής

Επίσης υπάρχουν και οι δυαδικές μεταβλητές B_i που εμφανίζονται στις εξισώσεις (4.5) έως (4.11) και εκφράζουν ποιο σενάριο τιμής, διαφημιστικής δαπάνης, πίστωσης και δαπανών έρευνας και ανάπτυξης (RnD), έχει επιλεγεί ($i=1,2,3 \dots 540$).

4.3.4 Ελεύθερες μεταβλητές

Οι ελεύθερες μεταβλητές είναι οι μεταβλητές εκείνες οι οποίες μπορούν να λάβουν είτε θετική είτε αρνητική τιμή. Ως ελεύθερες μεταβλητές ορίζονται στο GAMS οι μεταβλητές που εκφράζουν το μέγεθος εκείνο ως προς το οποίο γίνεται η βελτιστοποίηση. Στην περίπτωση μας, ελεύθερες είναι οι εξής μεταβλητές:

PROF : Παριστάνει το τελικό κέρδος ως αποτέλεσμα της επιχειρηματικής πολιτικής που ακολουθήθηκε βάσει γραμμικού προγραμματισμού αλλά και των προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

SALES : Παριστάνει το ύψος των πωλήσεων (όγκος πωλήσεων).

4.4 Περιορισμοί μοντέλου

4.4.1 Εξισώσεις ορισμού

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι παραπάνω μεταβλητές στην κατάσταση του μοντέλου. Με έντονα γράμματα αναφέρεται το όνομα της εξίσωσης στο μοντέλο GAMS.

EQ_PR Ορισμός της τιμής του προϊόντος, ως η τιμή που δίνεται από το βέλτιστο σενάριο από τα 540 διαφορετικά. Υπολογίζεται με τη βοήθεια της δυαδικής μεταβλητής B_i , σύμφωνα με την εξίσωση (4.7).

$$PR = p_1 \times B_1 + p_2 \times B_2 + \dots + p_{540} \times B_{540}$$

Σε γλώσσα GAMS, η τιμή του προϊόντος, υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$PR = \text{sum}(I, bp(I, 'PRC') * B(I)) \quad (4.13)$$

EQ_AD Ορισμός του διαφημιστικού κόστους ως το διαφημιστικό κόστος του βέλτιστου σεναρίου από τα 540 διαφορετικά. Υπολογίζεται με τη βοήθεια της δυαδικής μεταβλητής B_i , σύμφωνα με την εξίσωση (4.8).

$$AD = ad_1 \times B_1 + ad_2 \times B_2 + \dots + ad_{540} \times B_{540}$$

Σε γλώσσα GAMS, η τιμή του διαφημιστικού κόστους, υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$AD = \text{sum}(I, bp(I, 'ADC') * B(I)) \quad (4.14)$$

EQ_CR Ορισμός της πίστωσης που δίνουμε στους πελάτες μας, ως η πίστωση του βέλτιστου σεναρίου από τα 540 διαφορετικά. Υπολογίζεται με τη βοήθεια της δυαδικής μεταβλητής B_i , σύμφωνα με την εξίσωση (4.9).

$$CR = cr_1 \times B_1 + cr_2 \times B_2 + \dots + cr_{540} \times B_{540}$$

Σε γλώσσα GAMS, η τιμή της πίστωσης, υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$CR = \text{sum}(I, bp(I, 'CRC') * B(I)) \quad (4.15)$$

EQ_RD Ορισμός του κόστους έρευνας και ανάπτυξης, ως η τιμή του κόστους έρευνας και ανάπτυξης του βέλτιστου σεναρίου από τα 540 διαφορετικά. Υπολογίζεται με τη βοήθεια της δυαδικής μεταβλητής B_i , σύμφωνα με την εξίσωση (4.10).

$$RD = rd_1 \times B_1 + rd_2 \times B_2 + \dots + rd_{540} \times B_{540}$$

Σε γλώσσα GAMS, η τιμή του κόστους R&D, υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$RD = \text{sum}(I, bp(I, 'RDC') * B(I)) \quad (4.16)$$

EQ_SALES Ορισμός του όγκου πωλήσεων. Υπολογίζονται μέσω της σχέσης (4.5).

$$Q = q_1 B_1 + q_2 B_2 + \dots + q_{540} B_{540}$$

Σε γλώσσα GAMS οι πωλήσεις υπολογίζονται μέσω της σχέσης:

$$\text{Sum}(I, bp(I, 'SALESC') * B(I)) \text{ TSALES} = \text{TSALES} \quad (4.17)$$

EQ_ACTINC Ορισμός των πραγματικών εσόδων. Υπολογίζονται ως τα έσοδα από τις πωλήσεις του προϊόντος μας, αφαιρώντας την πίστωση που έχουμε δώσει στους πελάτες μας.

$$\text{ACTINC} = \text{sum}(I, bp(I, 'PRC') * B(I) * r_{sales}(I)) - \text{sum}(I, bp(I, 'CRC') * bp(I, 'PRC') * B(I) * r_{sales}(I)) \quad (4.18)$$

EQ_INCOM Ορισμός των εσόδων ταμείου, δηλαδή των συνολικών εσόδων από τις πωλήσεις του προϊόντος μας, μη λαμβάνοντας υπόψη την πίστωση που έχουμε δώσει στους πελάτες. Ισούνται δηλαδή με το πρώτο σκέλος της εξίσωσης (4.18)

$$\text{INCOM} = \text{sum}(I, bp(I, 'PRC') * B(I) * r_{sales}(I)) \quad (4.19)$$

EQ_SUM Αυτή η εξίσωση αποτελεί τον ορισμό της δυαδικής μας μεταβλητής B_i , ότι δηλαδή το άθροισμα $B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_{540}$ είναι ίσο με τη μονάδα. Σε γλώσσα GAMS αυτή η εξίσωση γράφεται:

$$\text{Sum}(I, B(I)) = 1 \quad (4.20)$$

EQ_RMTOTC Υπολογίζεται το συνολικό κόστος των πρώτων υλών πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα της ποσότητας τους από την προηγούμενη περίοδο **RMST0** και της ποσότητας της τρέχουσας **RM** επί την παράμετρο κόστους των πρώτων υλών **rmpr**. Στο συνολικό κόστος λαμβάνεται υπόψη επιπλέον το κόστος

συντήρησης των πρώτων υλών με το γινόμενο του κόστους τους από προηγούμενη περίοδο $RMST0*rmpr$ επί την παράμετρο του κόστους συντήρησης $rmstc$.

$$RMTOTC = RMST0*rmpr + RM*rmpr + RMST0 (rmpr*rmstc) \quad (4.21)$$

EQ_RMSTN Υπολογίζεται η ποσότητα πρώτων υλών που θα αποθηκευτεί για χρήση σε επόμενη περίοδο. Προκύπτει από την αφαίρεση αυτών που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή από τις συνολικές πρώτες ύλες. **Υπενθυμίζεται ότι μία μονάδα πρώτων υλών αντιστοιχεί σε μία μονάδα έτοιμου προϊόντος.**

$$RMSTN = RM + RMST0 - PD \quad (4.22)$$

EQ_CAPNEW Υπολογίζεται η καινούρια δυναμικότητα που πρόκειται να εγκατασταθεί τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Από τα δεδομένα του παιχνιδιού γνωρίζουμε ότι μία μικρή μονάδα παραγωγής μπορεί να παράξει 500 τόνους /έτος. Αντίστοιχα, μία μεσαία 2000 και μία μεγάλη 5000. Έτσι λοιπόν η καινούρια δυναμικότητα προκύπτει από το άθροισμα της συνολικής δυναμικότητα προκύπτει από το άθροισμα της συνολικής δυναμικότητας που αγοράστηκε μείον αυτή που πωλήθηκε.

$$CAPNEW = 500*UBS+2000*UBM+5000*UBB-500*USS-2000*USM-5000*USB \quad (4.23)$$

EQ_CAPEX Υπολογίζεται η υπάρχουσα δυναμικότητα.

$$CAPEX = 500*UXS - 2000*UXM - 5000*UXB \quad (4.24)$$

EQ_CAP Γνωρίζοντας την καινούρια δυναμικότητα υπολογίζουμε τη διαθέσιμη δυναμικότητα.

$$CAP = CAPEX + CAPNEW \quad (4.25)$$

EQ_BEQCOST Υπολογίζεται το κόστος της αγοράς καινούριου εξοπλισμού. Το συνολικό κόστος προκύπτει από το επιμέρους κόστος επένδυσης για κάθε είδος μονάδας παραγωγής (μικρή, μεσαία, μεγάλη) που προκύπτει από το γινόμενο της αντίστοιχης για κάθε μονάδα παραγωγής παραμέτρου ($invsc$, $invcm$, $invcb$), με τον αντίστοιχο αριθμό κάθε είδους μονάδας.

$$BEQCOST = invcs*UBS + invcm*UBM + invcb*UBB \quad (4.26)$$

EQ_PD Υπολογίζεται η παραγωγή ως άθροισμα της κανονικής και υπερωριακής παραγωγής.

$$PD = NPD + OTPD \quad (4.27)$$

EQ_PD2 Η παραγωγή για τη στοχαστική ανάλυση Monte Carlo ισούται με τις πωλήσεις αυξημένες κατά 5% μείον του στοκ που υπήρχε στις αποθήκες.

$$PD = 1.05*sum(I, bp(I, 'SALESP')*B(I)) - FPST0 \quad (4.28)$$

EQ_LABC Υπολογισμός του συνολικού κόστους εργασίας με τη χρήση των παραμέτρων **nlabc** και **ovlbc** που αφορούν στον κανονικό και υπερωριακό κόστος εργασίας αντίστοιχα, πολλαπλασιαζόμενων με τις αντίστοιχες προκύπτουσες μεταβλητές απόφασης.

$$LABC = NPD*nlabc + OTPD*oilbc \quad (4.29)$$

EQ_OVHDC Υπολογίζεται το συνολικό κόστος overhead. Το κόστος αυτό είναι το κόστος διοίκησης παραγωγής που προκύπτει από το άθροισμα του overhead παραγωγής και του overhead επένδυσης.

$$OVHDC = LABC*ovhclc + (DEPR/deprc)*ovhcin \quad (4.30)$$

EQ_PDC Υπολογισμός του συνολικού κόστους παραγωγής μέσω του αθροίσματος του κόστους των πρώτων υλών, του κόστους εργασίας, του κόστους overhead και του κόστους έρευνας και ανάπτυξης.

$$PDC = RMTOTC + LABC + OVHDC + RD \quad (4.31)$$

EQ_FPSTN Υπολογισμός της ποσότητας έτοιμου προϊόντος που θα αποθηκευτεί για χρήση σε επόμενη περίοδο. Προκύπτει από το stock του έτοιμου προϊόντος που υπήρχε στις αποθήκες, αφαιρώντας μια ποσότητα που αφορά στο stock που δε χωράει να αποθηκευτεί GARBG και φυσικά των παραχθέντων μείον αυτών που πωλήθησαν.

$$FPSTN = FPST0 - GARBG + PD - SALES \quad (4.32)$$

EQ_SCOST Υπολογισμός του κόστους των πωληθέντων. Ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας την παράμετρο **pdun** η οποία παριστάνει το συνολικό κόστος μίας

μονάδας έτοιμου προϊόντος. Το κόστος των πωληθέντων λοιπόν προκύπτει από το κόστος του έτοιμου προϊόντος που υπήρχε στις αποθήκες, συν το κόστος συντήρησης του, συν το κόστος παραγωγής μείον το κόστος των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενη περίοδο.

$$SCOST = FPST0 * pdun + FPST0 * (pdun * fpstc) + PDC - FPSTN * pdun - RMSTN * rmprr \quad (4.33)$$

EQ_ADMIN Υπολογισμός του κόστους διοίκησης, που προκύπτει από το άθροισμα του εξαρτώμενου από τις πωλήσεις κόστους διοίκησης και του αντίστοιχου εξαρτώμενου από την πάγια επένδυση.

$$ADMIN = SALES * admisc + (DEPR / deprc) * admfxc \quad (4.34)$$

EQ_LTLN Υπολογισμός του ύψους δανείου πάγιας επένδυσης, λαμβανομένης υπόψη την τυχούσα λήψη νέου δανείου.

$$LTLN = LL + LLO \quad (4.35)$$

EQ_LL Υπολογισμός του μέρους του δανείου που δεν έχει αποπληρωθεί και μεταφέρεται στην επόμενη περίοδο.

$$LLN = (1 - ltintr) * LTLN \quad (4.36)$$

EQ_INTRST Υπολογισμός του συνολικού κόστους των τόκων. Προκύπτει από το επιτόκιο επί το ύψος του αντίστοιχου δανείου (πάγιας επένδυσης ή κίνησης).

$$INTRST = ltintr * LTLN + stintr * SL \quad (4.37)$$

EQ_DEPR Υπολογισμός της απόσβεσης. Προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή απόσβεσης επί το συνολικό κόστος επένδυσης.

$$DEPR = deprc * [invcb * (UBB - USB + UXB) + invcm * (UBM - USM + UXM) + invcs * (UBS - USS + UXS)] \quad (4.38)$$

EQ_PRBT Υπολογισμός των προ φόρων κερδών. Προκύπτουν από την αφαίρεση του κόστους των πωληθέντων, του διοικητικού κόστους, του διαφημιστικού κόστους, των τόκων των δανείων και της απόσβεσης, από τα έσοδα που προέρχονται από τις πωλήσεις.

$$PRBT = INCOM - SCOST - ADMIN - AD - INTRST - DEPR + LOSS \quad (4.39)$$

EQ_PROF Υπολογισμός των τελικών κερδών της επιχείρησης μετά φόρων. Αυτή η εξίσωση μάλιστα αποτελεί και την αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου μας. Θέλουμε λοιπόν να πετύχουμε μεγιστοποίηση των κερδών της επιχείρησης και επομένως αναζητούμε τη μεγιστοποίηση αυτής της εξίσωσης.

$$PROF = (PRBT-LOSS)*(1-taxf) \quad (4.40)$$

EQ_SEQREV Υπολογισμός εσόδων που προέρχονται από πωλήσεις εξοπλισμού. Προκύπτουν από τη δεδομένη τιμή πώλησης κάθε μονάδας παραγωγής επί τον αριθμό των μονάδων που πωλούνται.

$$SEQREV = spb*USB + spm*USM + sps*USS \quad (4.41)$$

EQ_INFLOW Υπολογισμός των συνολικών εσόδων της περιόδου. Τα συνολικά έσοδα προκύπτουν από το άθροισμα των εσόδων από τις πωλήσεις, τις πιστώσεις, τα δάνεια πάγιας επένδυσης και κίνησης και από τα έσοδα από τις πωλήσεις εξοπλισμού.

$$INFLOW = ACTINC + PYCR + LL + SL + SEQREV \quad (4.42)$$

EQ_OUTFLOW Υπολογισμός των συνολικών εξόδων της περιόδου. Στα συνολικά έξοδα περιλαμβάνονται τα κόστη των πρώτων υλών με τις πιστώσεις των προμηθευτών και το κόστος συντήρησης τους, το κόστος συντήρησης του stock του έτοιμου προϊόντος, τα εργατικά κόστη, το συνολικό κόστος overhead, το κόστος έρευνας και ανάπτυξης, τα κόστη διοίκησης, διαφήμισης, αγοράς εξοπλισμού και τα κόστη που αφορούν τα δάνεια.

$$OUTFLOW = RM*rmpr*(1-supcr) + PYRMCR + RMST0*(rmpr*rmstc) + FPST0*(pdun*fpstc) + LABC + OVHDC + RD + ADMIN + AD + BEQCOST + crf*LTLN + (1+stintr)*SL + DIV + taxf*PRBT \quad (4.43)$$

EQ_BALANCE Υπολογισμός τελικού κέρδους ή ζημίας. Σημαίνει ότι το άθροισμα του αποθεματικού της επιχείρησης και των εισροών, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τις εκροές της επιχείρησης.

$$CASH = INFLOW + CASH0 - OUTFLOW \quad (4.44)$$

4.4.2 Ανισοτικοί περιορισμοί

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι ανισοτικοί περιορισμοί του μοντέλου που πηγάζουν από τους κανονισμούς του παιχνιδιού ή από στοιχεία της λογικής που δε μπορεί να ανατρέπονται. Οι περιορισμοί αποτελούν τα αντικειμενικά όρια που προκύπτουν είτε από τη φύση του ίδιου του προβλήματος είτε από τις προτιμήσεις του εκάστοτε χρήστη – αποφασίζοντα.

EQ_USS, EQ_USM, EQ_USB Οι μονάδες που πωλούνται, δε μπορεί να είναι περισσότερες από τις υπάρχουσες. Οι τρεις ανισότητες όπως αναφέρονται στα τρία μεγέθη της μικρής μεσαίας και μεγάλης μονάδας, είναι:

$$USS < UXS \quad (4.45) \quad USM < UXM \quad (4.46) \quad USB < USB \quad (4.47)$$

EQ_NPD Η κανονική παραγωγή (μη συμπεριλαμβανομένων των υπερωριών) δε μπορεί να ξεπερνά τη συνολική δυναμικότητα.

$$NPD < CAP \quad (4.48)$$

EQ_OTPD Η υπερωριακή εργασία δε μπορεί να ξεπερνά το 50% της συνολικής δυναμικότητας.

$$OTPD < 0,5 * CAP \quad (4.49)$$

EQ_PDMIN Ο συγκεκριμένος περιορισμός αναφέρεται στο τεχνικό ελάχιστο της παραγωγής, δηλαδή στο ελάχιστο που μπορεί να παράγει η δεδομένη δυναμικότητα, που είναι το 30% της.

$$PD < 0,3 * CAP \quad (4.50)$$

EQ_BFPSTN Η ποσότητα του έτοιμου προϊόντος που θα αποθηκευτεί και θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενη περίοδο δε μπορεί να ξεπερνά το 50% της συνολικής δυναμικότητας.

$$FPSTN < 0,5 * CAP \quad (4.51)$$

EQ_BLOAN Το άθροισμα των δανείων πάγιας επένδυσης και κίνησης δεν πρέπει να ξεπερνά το 80% των χρημάτων που υπάρχουν στην αρχή της περιόδου στο ταμείο.

$$SS + LL < 0,8 * CASH0 \quad (4.52)$$

EQ_LLINV Το δάνειο πάγιας επένδυσης δεν πρέπει να ξεπερνά το συνολικό κόστος της επένδυσης.

$$LL < BEQCOST \quad (4.53)$$

4.5 Αντικειμενική συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση, είναι η συνάρτηση, που μέσω της εύρεσης της μέγιστης δυνατής τιμής της, αναζητούμε τη βέλτιστη δυνατή ομάδα τιμών των μεταβλητών απόφασης εφόσον ληφθούν υπόψη οι υπάρχοντες περιορισμοί. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία πραγματοποιείται η αναζήτηση του μέγιστου δυνατού κέρδους, δηλαδή αντικειμενική μας συνάρτηση είναι αυτή του κέρδους (4.40) ή όπως αποτυπώνεται στην πλατφόρμα GAMS:

$$(EQ_PROF: (PRBT-LOSS)*(1-taxf) = PROF)$$

Συνεπώς, αναζητούμε το μέγιστο δυνατό κέρδος που μπορεί να προκύψει από την εκάστοτε επιχειρηματική πολιτική. (**MAXIMIZING PROF**).

Το πλήρες μοντέλο GAMS για τη βελτιστοποίηση του κέρδους (PROF) δίνεται στο παράρτημα.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Επίλυση μοντέλου, εύρεση βέλτιστων λύσεων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επιχείρησή μας καλείται να λάβει την καλύτερη απόφαση που συνδέεται με τις τέσσερις γνωστές μεταβλητές απόφασης (τιμή προϊόντος, διαφημιστική δαπάνη, πίστωση στους πελάτες και δαπάνες R&D), με σκοπό να μεγιστοποιήσει μελλοντικά τα κέρδη της. Με λίγα λόγια, επιθυμούμε την εύρεση του καλύτερου σεναρίου από τα 540, το οποίο και θα αποφέρει τα μεγαλύτερα κέρδη.

Όμως, βρισκόμαστε σε ένα περιβάλλον πλήρους αβεβαιότητας και δε γνωρίζουμε πώς θα διαμορφωθεί μελλοντικά η βαρύτητα του καθενός από τους τέσσερις παράγοντες στις πωλήσεις και συνεπώς στα κέρδη. Δηλαδή, δεν γνωρίζουμε την επίδραση στις μελλοντικές πωλήσεις, αν διπλασιάσουμε για παράδειγμα τη διαφημιστική δαπάνη. Έτσι λοιπόν, για να αποκτήσουμε μια εποπτεία του προβλήματος μας, **έχουμε προσομοιώσει έξι πιθανά μελλοντικά σενάρια** που ενδεχομένως να επικρατήσουν στην αγορά, και αφορούν στη βαρύτητα που ασκούν οι τέσσερις μεταβλητές απόφασης στις μελλοντικές πωλήσεις του προϊόντος μας. Αυτά τα έξι σενάρια καλύπτουν και προσεγγίζουν σε γενικές γραμμές όλες τις μελλοντικές περιπτώσεις, ακόμα και τις πιο ακραίες, ώστε σε κάθε περίπτωση να είμαστε καλυμμένοι και θεωρούμε ότι είναι **ισοπίθανα**. Σκοπός μας είναι η εύρεση έξι βέλτιστων τετράδων τιμών των μεταβλητών απόφασης (από τις 540), μία για κάθε μελλοντικό σενάριο, τις οποίες και αξιολογούμε, όπως θα δούμε παρακάτω.

5.1.1 Εισαγωγή παραμέτρων για την προσομοίωση των μελλοντικών σεναρίων

Για τη δημιουργία καθεμίας από τις έξι διαφορετικές μελλοντικές συνθήκες στο μοντέλο μας, εισάγουμε δύο τετράδες τιμών. Η πρώτη τετράδα τιμών αποτελεί τους εκθέτες για το πολλαπλασιαστικό μας μοντέλο και η καθεμία τιμή αναφέρεται σε μία από τις 4 μεταβλητές απόφασης, αντίστοιχα. Η δεύτερη τετράδα τιμών εισάγει τους

συντελεστές κλίσης των μη γραμμικών καμπυλών χρησιμότητας (βλ. κεφάλαιο 3 με την περιγραφή του business game) οι οποίοι καθορίζουν και το σχήμα της αντίστοιχης καμπύλης μεταβολής της συνάρτησης χρησιμότητας για τη συγκεκριμένη μεταβλητή.

Οι εκθέτες για το πολλαπλασιαστικό μοντέλο αποδίδουν στην ουσία την ποσοστιαία επίδραση του καθενός από τους τέσσερις παράγοντες μεταξύ των άλλων τεσσάρων στις πωλήσεις. Γι' αυτό και το άθροισμα των τεσσάρων εκθετών σε καθένα από τα έξι σενάρια είναι ίσο με τη μονάδα.

Στη συνέχεια το γινόμενο των μετασχηματισμένων συντελεστών γραμμικοποίησης με τους εκθέτες του πολλαπλασιαστικού μοντέλου, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, μας δίνει το score της καθεμιάς από τις 540 περιπτώσεις.

$$Score_i = \prod_{j=1..4} \left(\frac{1 - e^{a_j \times l_{ij}}}{1 - e^{a_j}} \right)^{w_j} \quad (5.1)$$

Όπου a_j είναι ο συντελεστής κλίσης, l_{ij} η γραμμική επίδοση της j -μεταβλητής του i -σεναρίου και w_j ο συντελεστής βαρύτητας της j -μεταβλητής απόφασης.

Έπειτα, από το score καθεμιάς περίπτωσης προκύπτει εύκολα ο όγκος των πωλήσεων που της αντιστοιχεί, από την εξής σχέση:

$$Sales_i = 2.000 + Score_i \times 8.000 \quad (5.2)$$

Όπου σαν ελάχιστο όγκο πωλήσεων έχουμε δεχτεί τα 2.000 κομμάτια και εύρος πωλήσεων τα 8.000 κομμάτια. Δηλαδή ο μέγιστος όγκος πωλήσεων που μπορούμε να πετύχουμε είναι τα 10.000 κομμάτια. Στο πρώτο μας σενάριο υποθέτουμε ότι και οι τέσσερις παράγοντες επιδρούν ισάξια στον όγκο των πωλήσεων και έτσι έχουν την ίδια βαρύτητα. Έτσι, οι τιμές των εκθετών είναι και για τους τέσσερις παράγοντες ίσες με 0,25.

Συνολικά, οι τιμές των τεσσάρων εκθετών βαρύτητας και των τεσσάρων συντελεστών κλίσης των μη γραμμικών καμπυλών χρησιμότητας και για τα έξι σενάρια συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1 : Πίνακας με τα ζευγάρια των συντελεστών στα έξι μελλοντικά σενάρια

Μελλοντικό Σενάριο		PR	AD	RD	CR
1o	w_j	0.25	0.25	0.25	0.25
	a_j	0.001	0.001	0.001	0.001
2o	w_j	0.3	0.3	0.2	0.2
	a_j	-3	-3	-3	-3
3o	w_j	0.4	0.3	0.15	0.15
	a_j	-3	-3	-3	-3
4o	w_j	0.6	0.2	0.1	0.1
	a_j	-3	-3	-3	-3
5o	w_j	0.4	0.3	0.15	0.15
	a_j	3	3	3	3
6o	w_j	0.6	0.2	0.1	0.1
	a_j	3	3	3	3

5.1.2 Επίλυση του μοντέλου για τα έξι μελλοντικά σενάρια

Τελικά, με τη διαδοχική επίλυση του μοντέλου για τα έξι ζευγάρια τετράδων συντελεστών, καταλήγουμε στην εύρεση έξι βέλτιστων δράσεων, από τις 540, καθεμία από τις οποίες αντιπροσωπεύει και ένα μελλοντικό σενάριο. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την επίλυση του μοντέλου GAMS εμφανίζονται συνοπτικά στον πίνακα 5.2 ή αναλυτικά, όπως ακριβώς μας τα δίνει η πλατφόρμα, στους πίνακες 5.3.α και 5.3.β.

Πίνακας 5.2 : Βέλτιστες δράσεις κάθε μελλοντικού σεναρίου και τιμές των τεσσάρων κύριων μεταβλητών απόφασης

Μελλοντικό Σενάριο	Βέλτιστη δράση	Τιμή προϊόντος €/tn	Διαφημιστική δαπάνη(€)	Πίστωση %	Κόστος R&D (€)
1o	480	480	200.000	0,5	100.000
2o	467	480	150.000	0,25	100.000
3o	467	480	150.000	0,25	100.000
4o	451	480	100.000	0,25	50.000
5o	420	440	200.000	0,5	100.000
6o	484	500	20.000	0,5	20.000

Πίνακας 5.3.α : Βέλτιστη δράση και συνολικά όλες οι διαμορφωθείσες τιμές των σημαντικών μεταβλητών, για τα τρία πρώτα μελλοντικά σενάρια, όπως δίνονται από το GAMS

	<i>Σενάριο 1^ο</i>	<i>Σενάριο 2^ο</i>	<i>Σενάριο 3^ο</i>
scenario:	480	scenario: 467	scenario: 467
PRICE	480	PRICE	PRICE 480
ADV	200000	ADV	ADV 150000
CREDIT	0.5	CREDIT	CREDIT 0.25
RAWMAT	7059	RAWMAT	RAWMAT 7321
R&D	100000	R&D	R&D 100000
PROD	7059	PROD	PROD 7321
LTLOAN	443919	LTLOAN	LTLOAN 0
STLOAL	0	STLOAL	STLOAL 0
SALES	7059	SALES	SALES 7321
CAPACITY	5000	CAPACITY	CAPACITY 5000
INCOME	3388320	INCOME	INCOME 3514080
ACTUALINC.	1694160	ACTUALINC.	ACTUALINC. 2635560
LOSS	0	LOSS	LOSS 0
PROF	933445	PROF	PROF 1043980
INFLOW	2138079	INFLOW	INFLOW 2635560
OUTFLOW	3088079	OUTFLOW	OUTFLOW 3080285
CASH	50000	CASH	CASH 555275
GARBG	0	GARBG	GARBG 0
RMSTN	0	RMSTN	RMSTN 0
FPSTN	0	FPSTN	FPSTN 0

Πίνακας 5.3.β : Βέλτιστη δράση και συνολικά όλες οι διαμορφωθείσες τιμές των σημαντικών μεταβλητών, για το 4^ο 5^ο και 6^ο μελλοντικό σενάριο, όπως δίνονται από το GAMS

	<i>Σενάριο 4^ο</i>	<i>Σενάριο 5^ο</i>	<i>Σενάριο 6^ο</i>
scenario:	451	scenario: 420	scenario: 484
PRICE	480	PRICE 440	PRICE 500
ADV	100000	ADV 200000	ADV 20000
CREDIT	0.25	CREDIT 0.5	CREDIT 0.5
RAWMAT	6258	RAWMAT 4745	RAWMAT 2219
R&D	50000	R&D 100000	R&D 20000
PROD	6258	PROD 4745	PROD 2219
LTLOAN	0	LTLOAN 325816	LTLOAN 0
STLOAL	0	STLOAL 0	STLOAL 0
SALES	6258	SALES 4745	SALES 2219
CAPACITY	5000	CAPACITY 5000	CAPACITY 2000
INCOME	3003840	INCOME 2087800	INCOME 1109500
ACTUALINC.	2252880	ACTUALINC. 1043900	ACTUALINC. 554750
LOSS	0	LOSS 0	LOSS 0
PROF	932857	PROF 430919	PROF 357502
INFLOW	2252880	INFLOW 1369716	INFLOW 554750
OUTFLOW	2697113	OUTFLOW 2319716	OUTFLOW 1078713
CASH	555767	CASH 50000	CASH 476037
GARBG	0	GARBG 0	GARBG 0
RMSTN	0	RMSTN 0	RMSTN 0
FPSTN	0	FPSTN 0	FPSTN 0

Το στάδιο επίλυσης στο οποίο έχουμε φτάσει αυτή τη στιγμή δεν αρκεί για να μας οδηγήσει στη λήψη απόφασης όσον αφορά στις τιμές που θα επιλέξουμε για τις τέσσερις μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν.

Μπορεί να έχουμε επιλέξει τη βέλτιστη τετράδα τιμών με βάσει ένα από τα έξι πιθανά σενάρια και να βασιζόμαστε σε αυτή, αλλά στο μέλλον μπορεί να προκύψει κάποιο

από τα άλλα πέντε σενάρια και να πέσουμε πολύ έξω από τις προβλέψεις μας, με δραματικές επιπτώσεις στα κέρδη μας και στο μέλλον της επιχείρησης. Επιπλέον, έχουμε καταλήξει σε έξι διαφορετικές βέλτιστες δράσεις και προφανώς θα πρέπει να αποκλείσουμε τις πέντε και να διαλέξουμε μία από αυτές. Για να το κάνουμε αυτό, θα χρησιμοποιήσουμε διάφορα γνωστά κριτήρια απόφασης υπό αβεβαιότητα (βλ. Κεφάλαιο 2). Σε περίπτωση που τα κριτήρια αυτά οδηγήσουν σε περισσότερες της μίας δράσης, τότε θα πρέπει να στηριχθούμε και σε υποκειμενικά κριτήρια για να αποφασίσουμε.

5.2 Επιλογή δράσης υπό αβεβαιότητα

5.2.1 Επεξεργασία

Έχουμε φτάσει σε σημείο να έχουμε 6 βέλτιστες δράσεις, μία για κάθε μελλοντικό σενάριο (5 διαφορετικές, λόγω του ότι η 467η τετράδα τιμών αντιστοιχεί σαν βέλτιστη σε δύο μελλοντικά σενάρια, το δεύτερο και το τρίτο) το οποίο μπορούμε να ακολουθήσουμε. Όπως είναι λογικό όμως, θα πρέπει να διαλέξουμε μία μόνο από αυτές. Παρακάτω, παραθέτουμε τη μεθοδολογία που θα μας δώσει τις πληροφορίες που θα χρειαστούμε ώστε να οδηγηθούμε ασφαλέστερα στην απόφαση για την επιλογή μίας εκ των δράσεων.

1. Αρχικά τροποποιούμε το μοντέλο μας GAMS (βλέπε παράρτημα), θέτοντας ως τιμές των αναμενόμενων πωλήσεων αυτές του καθενός μελλοντικού σεναρίου κάθε φορά. Έτσι, προκύπτουν 6 νέα διαφορετικά μοντέλα GAMS.
2. Σε κάθε ένα από αυτά, εξετάζουμε την περίπτωση να προκύψει ένα από τα υπόλοιπα 5 μελλοντικά σενάρια. Αυτό το κάνουμε, θέτοντας σε κάθε ένα από τα 6 μοντέλα τις 4 μεταβλητές απόφασης των υπολοίπων 5 σεναρίων, μία τετράδα τιμών κάθε φορά και λύνουμε το μοντέλο για να δούμε τα νέα αναμενόμενα κέρδη της επιχείρησης, που θα είναι προφανώς χαμηλότερα.
3. Έτσι, το κάθε ένα από τα 6 νέα μοντέλα καταλήγει σε 5 επιπλέον λύσεις.
4. Τέλος, κατασκευάζουμε τη μήτρα κερδών όπως έχει γίνει σαφές στο κεφάλαιο 2 στη θεωρία περί αβεβαιότητας, από την οποία θα βγάλουμε τα συμπεράσματα μας για την απόφαση που τελικά θα λάβουμε.

Τα παραπάνω απλοποιούνται στο παρακάτω διάγραμμα απεικόνισης των βημάτων της επεξεργασίας.



Σχήμα 5.1 : Απλοποιημένο flowchart μεθοδολογίας

Με λίγα λόγια, με τον παραπάνω τρόπο, βρίσκουμε τα κέρδη που θα έχουμε αν λάβουμε την απόφαση να επιλέξουμε την βέλτιστη τετράδα ενός σεναρίου και τελικά στο μέλλον προκύψει ένα από τα άλλα πέντε μελλοντικά σενάρια. Επιλύουμε αυτό το μοντέλο GAMS $6 \times 5 = 30$ φορές ώστε τελικά να καλύψουμε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις. Έτσι, με τις $6 + 30 = 36$ επιλύσεις του μοντέλου (τόσο του αρχικού όσο και του τροποποιημένου) έχουμε όλες τις δυνατές περιπτώσεις κερδών ή και ζημιών (σε €).

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα και επιλύοντας επιπλέον 5 φορές το καθένα από τα 6 τροποποιημένα μοντέλα GAMS είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε την μήτρα κερδών μας (πίνακας 5.4). Η αναλυτικές λύσεις και των 36 μοντέλων όπως δίνονται από το GAMS, έχουν αναρτηθεί στο παράρτημα Γ.

Πίνακας 5.4 : Μήτρα κερδών σε €

Ληφθείσες Αποφάσεις	Προκύπτοντα Μελλοντικά Σενάρια					
	1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6ο
1η	933.445	992.961	992.961	837.560	234.159	-90.884
2η	813.844	1.110.776	1.042.379	893.569	57.277	-117.461
3η	813.844	1.062.040	1.043.980	893.569	57.277	-117.461
4η	678.980	1.096.376	1.032.162	932.857	-51.801	-123.543
5η	795.825	795.825	795.825	795.825	430.919	5.172
6η	259.720	726.591	667.569	612.194	-117.353	357.502

Παρατηρούμε στη μήτρα κερδών, ότι τα κέρδη της διαγωνίου που είναι με έντονα νούμερα είναι τα μέγιστα δυνατά κάθε μελλοντικού σεναρίου (δηλαδή κάθε στήλης). Αφαιρώντας από το μέγιστο στοιχείο κάθε στήλης τα υπόλοιπα πέντε διαφορετικά κέρδη της στήλης, τα κέρδη δηλαδή του ίδιου μελλοντικού σεναρίου για διαφορετική ληφθείσα απόφαση, οδηγούμαστε διαδοχικά στην παρακάτω μήτρα απωλειών κερδών (regret matrix).

Πίνακας 5.5 : Μήτρα απωλειών (regret matrix) σε €

Ληφθείσες Αποφάσεις	Προκύπτοντα Μελλοντικά Σενάρια					
	1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6ο
1η	0	117.815	51.019	95.297	196.760	448.386
2η	119.601	0	1.601	39.288	373.642	474.963
3η	119.601	48.736	0	39.288	373.642	474.963
4η	254.465	14.400	11.818	0	482.720	481.045
5η	137.620	314.951	248.155	137.032	0	352.330
6η	673.725	384.185	376.411	320.663	548.272	0

5.2.2 Εφαρμογή κριτηρίων απόφασης

- *Κριτήριο μέσης τιμής δράσεων Laplace*

Προσθέτουμε τα 6 διαφορετικά κέρδη της κάθε σειράς της μήτρας κερδών και διαιρούμε διά του 6 ώστε να βρούμε το **μέσο κέρδος** κάθε δράσης για όλα τα διαφορετικά μελλοντικά σενάρια. Στη συνέχεια επιλέγουμε να ακολουθήσουμε τη δράση με το μεγαλύτερο μέσο κέρδος.

- *Κριτήριο MAXIMAX*

Βρίσκουμε ποιο είναι το μέγιστο κέρδος κάθε σειράς της μήτρας κερδών και από αυτά επιλέγουμε τη δράση που μας έδωσε το μεγαλύτερο από αυτά. Τα μέγιστα κέρδη όπως είναι προφανές είναι τα στοιχεία της διαγωνίου της μήτρας.

- *Κριτήριο MAXIMIN*

Σε αντίθεση με το MAXIMAX κριτήριο, εδώ βρίσκουμε τα χαμηλότερα κέρδη ή τις υψηλότερες ζημίες κάθε δράσης από τη μήτρα κερδών (δηλαδή τα κέρδη στη χειρότερη δυνατή μελλοντική περίπτωση για κάθε δράση). Στη συνέχεια επιλέγουμε τη δράση, που από τις χειρότερες περιπτώσεις που βρήκαμε, θα μας οδηγήσει στο μεγαλύτερο δυνατό κέρδος ή στη μικρότερη δυνατή ζημία.

- *Κριτήριο MINMAX Regret*

Από τη μήτρα διαφορών (regret matrix), βρίσκουμε τη μέγιστη απόκλιση (regret), από τα μέγιστα κέρδη κάθε δράσης. Στη συνέχεια επιλέγουμε τη δράση με τη μικρότερη απόκλιση κερδών από τα μέγιστα δυνατά κέρδη που μπορεί να επιτύχει.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε δράση σύμφωνα με το κάθε κριτήριο παρουσιάζεται στον πίνακα 5.6. Με κόκκινο χρωματίζεται η δράση που μας προτείνει να ακολουθήσουμε το κάθε κριτήριο απόφασης. Επιπλέον, στον πίνακα 5.7. καταγράφονται αναλυτικά οι βέλτιστες δράσεις, όπως προτείνονται από τα κριτήρια απόφασης.

Πίνακας 5.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κάθε δράσης, σύμφωνα με τα κριτήρια απόφασης, σε €

Ληφθείσες Αποφάσεις	Βέλτιστη δράση	AVERAGE Laplace	MAXIMAX	MAXIMIN	MINMAX REGRET
1η	480	650.033	992.961	-90.884	448.386
2η	467	633.397	1.110.776	-117.461	474.963
3η	467	625.541	1.062.040	-117.461	474.963
4η	451	594.171	1.096.376	-123.543	482.720
5η	420	603.231	795.825	5.172	352.330
6η	484	417.703	726.591	-117.353	673.725

Πίνακας 5.7 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα κριτηρίων απόφασης

Κριτήριο απόφασης	Βέλτιστη δράση	Τιμή προϊόντος (€/tn)	Διαφημιστική δαπάνη (€)	Πίστωση %	Κόστος R&D (€)
Laplace	480	480	200.000	0,5	100.000
MAXIMAX	467	480	150.000	0,25	100.000
MAXIMIN	420	440	200.000	0,5	100.000
MINMAX Regret	420	440	200.000	0,5	100.000

Παρατηρούμε, ότι τα δύο απαισιόδοξα κριτήρια απόφασης MAXIMIN και MINMAX regret μας προτείνουν έκαστα τη λήψη της 420ης δράσης, ενώ το μετριοπαθές κριτήριο του μέγιστου μέσου κέρδους (Laplace), τη λήψη της 480ης δράσης. Από την άλλη, το αισιόδοξο κριτήριο MAXIMAX μας οδηγεί στη δράση 467. Έτσι από τις έξι βέλτιστες δράσεις που είχαμε πριν, τώρα έχουμε καταλήξει σε τρεις. Σε αυτό το σημείο επειδή δεν έχουμε δεδομένα για τις πιθανότητες επαλήθευσης του καθενός μελλοντικού σεναρίου, τα αντικειμενικά κριτήρια για τη λήψη απόφασης παύουν να μας εξυπηρετούν περαιτέρω. Επομένως, σε αυτό το στάδιο, ο αποφασίζων θα πρέπει να επιλέξει να υιοθετήσει μία εξ αυτών των τριών δράσεων με υποκειμενικά κριτήρια.

Αν ο αποφασίζων έχει ως στόχο τα μέγιστα δυνατά κέρδη, βασιζόμενος στο ευνοϊκότερο γι' αυτόν μελλοντικό σενάριο, χωρίς να λαμβάνει σοβαρά υπόψη τις μεγάλες απώλειες κερδών στις περιπτώσεις που επαληθευτούν δυσμενή σενάρια πωλήσεων, τότε θα οδηγηθεί στην δράση που προτείνει το MAXIMAX κριτήριο απόφασης. Ένας πιο συγκρατημένος αποφασίζων, θα στραφεί προς ένα μέσο κριτήριο όπως το Laplace και θα επιλέξει τη δράση 480. Αντίθετα, ένας απαισιόδοξος επιχειρηματίας, που θα θυσιάσει μέρος των κερδών του ώστε να μην έχει μεγάλες απώλειες κερδών αν επαληθευτούν δυσμενή γι αυτόν μελλοντικά σενάρια πωλήσεων, θα κινηθεί προς τη δράση που προτείνει τα MAXIMIN και MINMAX regret κριτήρια.

Σε αυτή τη διπλωματική αποφασίσαμε να ακολουθήσουμε το πρότυπο της απαισιόδοξης στάσης επιχειρηματία και έτσι να επιλέξουμε τη δράση 420. Αυτό το κάναμε, επειδή προτιμάμε να βαδίσουμε σε πιο ασφαλείς επιχειρηματικούς

δρόμους με όσο το δυνατόν μικρότερο ρίσκο, καθώς πρόκειται για απόφαση που αφορά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της επιχείρησής μας, που είναι ζωτικής σημασίας για την εδραίωση της στην αγορά. Στους επόμενους χρόνους λειτουργίας (περίοδους σύμφωνα με το business game), μπορούμε να μην είμαστε τόσο συγκρατημένοι και να ακολουθήσουμε πιο αισιόδοξες δράσεις αν το θελήσουμε. Επιπλέον, τη δράση 420 μας την προτείνουν δύο κριτήρια απόφασης σε αντίθεση με τις δράσεις 467 και 480 που τις προτείνει από ένα κριτήριο έκαστη, γεγονός που μας δίνει μεγαλύτερη σιγουριά για την απόφασή μας. Η δράση 420 που επιλέγουμε αντιστοιχεί, όπως είναι ήδη γνωστό σε τιμή προϊόντος 440 €/tn, διαφημιστική δαπάνη 200.000 €, πίστωση προς τους πελάτες 50% και κόστος έρευνας και ανάπτυξης R&D 100.000 €.

5.3 Στοχαστική ανάλυση Monte Carlo

Ακολουθώντας μια επιχειρηματική στρατηγική μειωμένου ρίσκου, οδηγηθήκαμε στη δράση 420 που μας υπόδειξαν τα κριτήρια Maximin και Minmax regret. Στη συνέχεια όμως, πριν οριστικοποιήσουμε την απόφασή μας, θα επαληθεύσουμε ότι όντως το 420ο σενάριο είναι το βέλτιστο σενάριο για τις συνθήκες του πέμπτου μελλοντικού σεναρίου.

Γι' αυτό το λόγο, πραγματοποιούμε **ανάλυση ευαισθησίας Monte Carlo** όπως εξηγείται στο **κεφάλαιο 2.3**, επιλέγοντας τους συντελεστές που αντιστοιχούν στο πέμπτο μελλοντικό σενάριο και κάνουμε 1000 επαναλήψεις για να επιβεβαιώσουμε ότι το σενάριο 420 είναι πράγματι αυτό που κυριαρχεί. Τροποποιούμε ελάχιστα το υπάρχον μοντέλο GAMS (βλ. Παράρτημα Β) για να μας πραγματοποιήσει δύο αναλύσεις ευαισθησίας Monte Carlo.

- Στην πρώτη ανάλυση ευαισθησίας, θεωρούμε ότι οι αναμενόμενες μελλοντικές πωλήσεις θα έχουν ομοιόμορφη (uniform) κατανομή, με κέντρο της κατανομής την προϋπολογισμένη τιμή όπως υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση (5.2),
$$Sales_i = 2.000 + Score_i \times 8.000$$
και ακραίες τιμές που απέχουν $\pm 10\%$ από την κεντρική τιμή της κατανομής.

- Στη δεύτερη ανάλυση οι μελλοντικές πωλήσεις ακολουθούν κανονική (normal) κατανομή, με μέση τιμή ίδια με την κεντρική τιμή της ομοιόμορφης κατανομής και τυπική απόκλιση το 3,3% της κεντρικής τιμής.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατόπιν χιλίων επαναλήψεων όπως μας τα έδωσε η πλατφόρμα GAMS και για τις δύο αναλύσεις παρατείνονται παρακάτω:

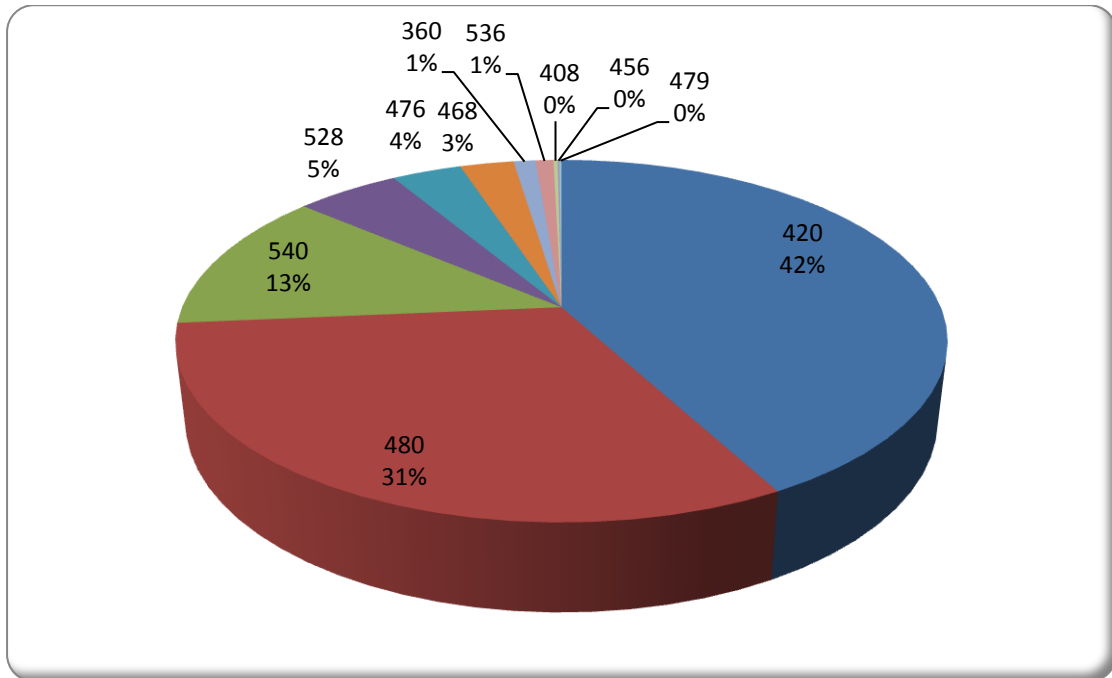
5.3.1. Uniform κατανομή πωλήσεων

Κατόπιν χιλίων επαναληπτικών λύσεων του μοντέλου, με τις μελλοντικές πωλήσεις να ακολουθούν **ομοιόμορφη κατανομή**, προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρατείνονται στον πίνακα 5.8. Στην πρώτη στήλη εμφανίζεται το σενάριο που εμφανίζεται σαν βέλτιστο και στη δεύτερη στήλη οι φορές εμφάνισης αυτού του σεναρίου.

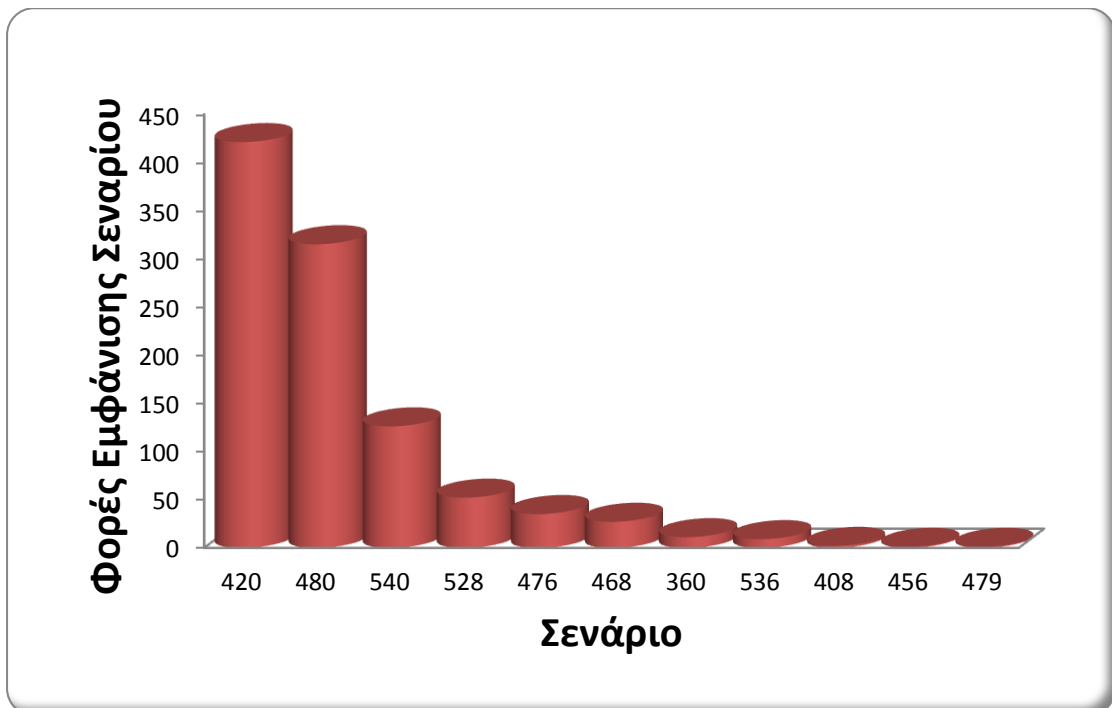
Πίνακας 5.8 : Αποτελέσματα ομοιόμορφης κατανομής

Scenarios	Counts
420	421
480	315
540	126
528	52
476	35
468	27
360	11
536	9
408	2
456	1
479	1
sum	1000

Η πίτα ποσοστών εμφάνισης των παραπάνω σεναρίων, απεικονίζεται στο σχήμα 5.2 και το αντίστοιχο διάγραμμα στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.2 : Ποσοστιαία πίτα ομοιόμορφης κατανομής



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα ομοιόμορφης κατανομής

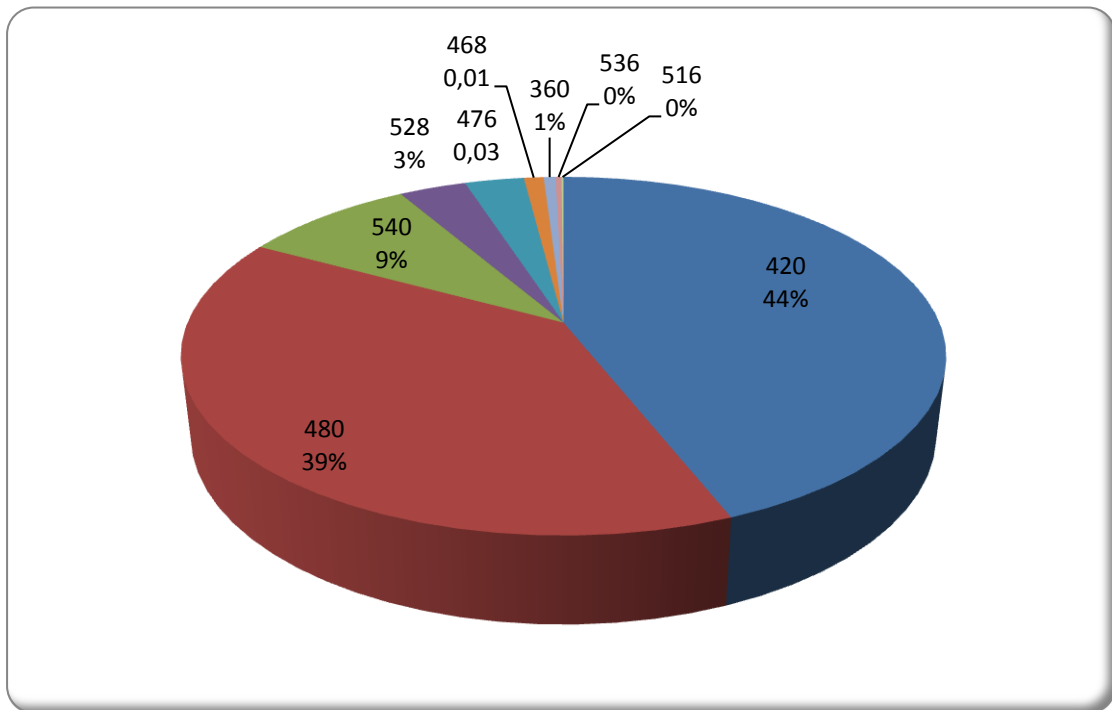
5.3.2. Normal κατανομή πωλήσεων

Αντίστοιχα, αν οι μελλοντικές πωλήσεις ακολουθήσουν **κανονική κατανομή** με μέση τιμή αυτή που υπολογίστηκε από τη σχέση (5.2) και τυπική απόκλιση το 3,3% αυτής, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα, τα οποία και παρατίθενται στον πίνακα 5.9. Στην πρώτη στήλη εμφανίζεται το σενάριο που εμφανίζεται σαν βέλτιστο και στη δεύτερη στήλη οι φορές εμφάνισης αυτού του σεναρίου.

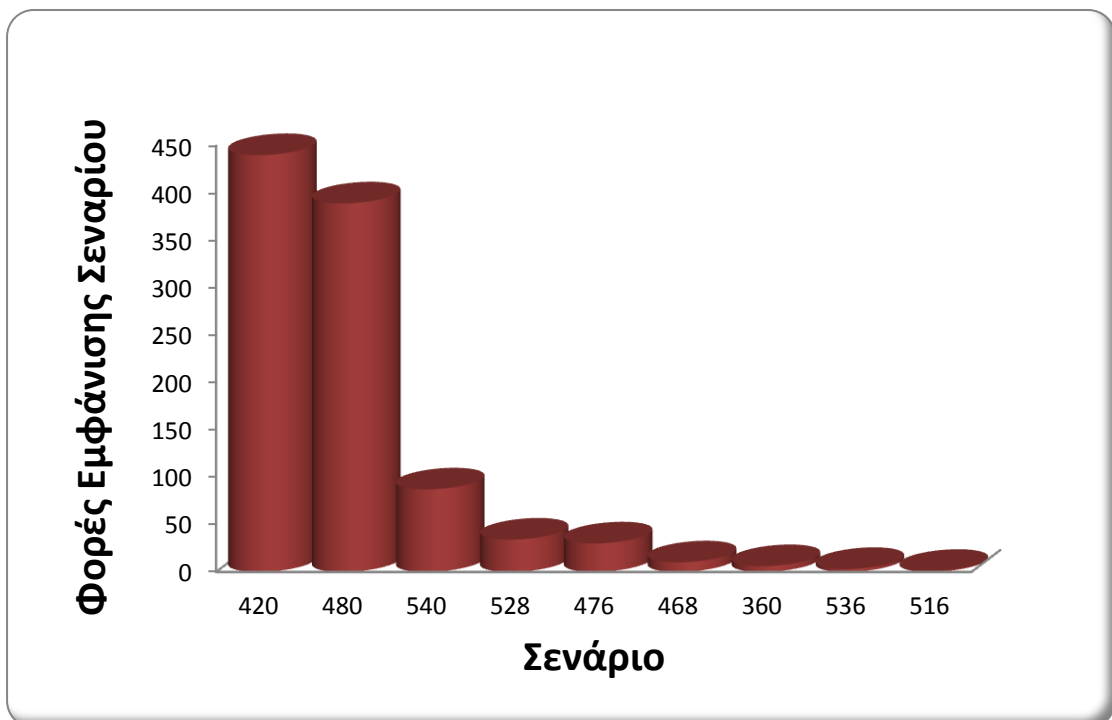
Πίνακας 5.9 : Αποτελέσματα κανονικής κατανομής

Scenarios	Counts
420	440
480	389
540	87
528	34
476	30
468	10
360	6
536	3
516	1
sum	1000

Όμοια, η πίτα ποσοστών εμφάνισης των παραπάνω σεναρίων, απεικονίζεται στο σχήμα 5.4 και το αντίστοιχο διάγραμμα στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.4 : Ποσοστιαία πίτα κανονικής κατανομής



Σχήμα 5.5 : Διάγραμμα κανονικής κατανομής

Από τη στοχαστική ανάλυση Monte Carlo που πραγματοποιήσαμε, παρατηρούμε, ότι και στις δύο περιπτώσεις μας προέκυψε σαν επικρατέστερο σενάριο το 420, όπως και αναμενόταν. Στην uniform κατανομή πωλήσεων το σενάριο αυτό επικρατεί στο 42% των απαναλήψεων, ενώ στην normal κατανομή στο 44% τους.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Η διπλωματική εργασία αυτή ξεκίνησε με σκοπό την όσο το δυνατόν πιο πιστή προσομοίωση μιας νεοσύστατης επιχείρησης που πρόκειται να λάβει απόφαση για τις μελλοντικές της κινήσεις. Κινούμαστε σε περιβάλλον επιχειρηματικού παιγνίου, όπως έχουμε εξηγήσει (βλέπε κεφάλαιο 3) και επιχειρούμε την εύρεση της βέλτιστης απόφασης που αφορά τη μεγιστοποίηση των κερδών της επιχείρησης για την πρώτη περίοδο λειτουργίας της μόνο. Προσπαθούμε δηλαδή, μέσα από το μοντέλο μας, να βρούμε τη βέλτιστη ομάδα τιμών για τις μεταβλητές της τιμής του προϊόντος, της διαφημιστικής δαπάνης, της πίστωσης προς τους πελάτες και του κόστους έρευνας και ανάπτυξης ώστε να πετύχουμε μέγιστα κέρδη τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της επιχείρησης.

Όμως, κινούμαστε σε ένα περιβάλλον πλήρους αβεβαιότητας ως προς το πώς θα κινηθεί η αγορά μελλοντικά και επομένως και ως προς την πορεία που θα ακολουθήσουν οι πωλήσεις μας. Έτσι, προσομοιώσαμε έξι μελλοντικά σενάρια πωλήσεων, με την προσθήκη δύο εκθετών που έχουν να κάνουν με τη βαρύτητα της καθεμίας από τις τέσσερις κύριες μεταβλητές απόφασης στις μελλοντικές πωλήσεις. Με αυτό τον τρόπο, καλύψαμε ικανοποιητικά ένα μεγάλο εύρος μελλοντικών σεναρίων που αφορούν τις πωλήσεις του προϊόντος, χωρίς όμως να γνωρίζουμε ποιο από αυτά τα προσομοιωμένα σενάρια είναι πιο πιθανά να προκύψουν τελικά. Γι' αυτό το λόγο θεωρήσαμε και τα έξι μελλοντικά σενάρια εξίσου πιθανά.

Το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύξαμε, ήταν μοντέλο μικτού - ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού για την προσομοίωση επιχειρηματικών αποφάσεων. Ένα εμπόδιο που έπρεπε να ξεπεράσουμε στη μοντελοποίηση, ήταν η γραμμικοποίηση των μεγεθών εκείνων, που δεν ήταν γραμμικά. Αυτό έγινε με την διακριτοποίηση του χώρου των αποφάσεων σε 540 δυνατούς συνδυασμούς. Έτσι, το πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού που είχαμε αρχικά, μετατράπηκε σε πρόβλημα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού που είναι πιο εύκολο να επιλυθεί.

Κατόπιν έξι διαδοχικών επιλύσεων του μοντέλου μεγιστοποίησης των κερδών, μία φορά για κάθε μελλοντικό σενάριο, οδηγηθήκαμε στα αποτελέσματα που παριστάνονται στους πίνακες 5.2 και 5.3. Σε αυτούς τους πίνακες, εμφανίζεται ποια είναι η βέλτιστη δράση που πρέπει να ακολουθήσουμε για κάθε διαφορετικό μελλοντικό σενάριο, καθώς και τις τιμές των κυρίων μεταβλητών απόφασης που αντιστοιχούν σε κάθε μια από αυτές τις βέλτιστες δράσεις.

Όπως είναι προφανές, **αν γνωρίζαμε με βεβαιότητα, ποιο από αυτά τα έξι μελλοντικά σενάρια θα προέκυπτε στο μέλλον**, τότε εδώ θα είχαμε τελειώσει την ανάλυση μας και απλώς θα διαλέγαμε να ακολουθήσουμε την αντίστοιχη βέλτιστη δράση αυτού του μελλοντικού σεναρίου, όπως προέκυψε από την επίλυση του μοντέλου. Επειδή όμως έχουμε πλήρη άγνοια για τη μελλοντική πορεία των πωλήσεων, κάναμε χρήση των τεσσάρων κριτηρίων απόφασης υπό αβεβαιότητα (Laplace, MAXIMAX, MAXIMIN, MINMAX Regret).

Παρατηρήσαμε, ότι ανάλογα με το κριτήριο απόφασης, μπορεί να καταλήξουμε και σε διαφορετική επιχειρηματική στρατηγική. Πράγματι, το κριτήριο της μέσης τιμής Laplace μας προτείνει τη δράση 480, το κριτήριο MAXIMAX τη δράση 467, ενώ τα κριτήρια MAXIMIN και MINMAX Regret τη δράση 420.

Ένας αισιόδοξος επιχειρηματίας που θέλει την επίτευξη όσο το δυνατόν υψηλότερων κερδών, χωρίς να ενδιαφέρεται για τις απώλειες κερδών που θα έχει, αν η αγορά κινηθεί μελλοντικά με τρόπο μη αναμενόμενο, θα επιλέξει τη δεύτερη δράση, ενώ ένας πιο συγκρατημένος μπορεί να ακολουθήσει το κριτήριο της μέσης τιμής (Laplace). Αν ο αποφασίζων προτιμήσει μια αρκετά πιο συγκρατημένη έως και απαισιόδοξη επιχειρηματική στρατηγική, θα κινηθεί προς την απόφαση που του προτείνουν τα δύο πιο πεσιμιστικά κριτήρια απόφασης (MAXIMIN και MINMAX regret).

Εμείς ακολουθήσαμε τη στρατηγική του τρίτου είδους αποφασίζοντα επιχειρηματία, καθώς την προτείνουν δύο από τα κριτήρια απόφασης και κυρίως επειδή μας ενδιαφέρει μελλοντικά, τα κέρδη μας να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα αναμενόμενα. Ακόμα και στην περίπτωση που προκύψουν δυσμενή μελλοντικά σενάρια, επιθυμούμε να έχουμε όσο το δυνατόν τις μικρότερες απώλειες, ώστε να μη θέσουμε σε κίνδυνο το μέλλον της νεοσύστατης επιχείρησής μας.

Έτσι επιλέξαμε την πέμπτη δράση που αφορά στην περίπτωση 420. Επομένως επιλέξαμε να πωλήσουμε το προϊόν μας στην τιμή των 440 €/tn, να διαθέσουμε για διαφημιστική δαπάνη το ποσό των 200.000 € , να δώσουμε πίστωση στους πελάτες μας 50% και να δαπανήσουμε για έρευνα και ανάπτυξη του προϊόντος μας το ποσό των 100.000 €. **Από αυτή τη στρατηγική αναμένουμε μελλοντικά να έχουμε ένα μέσο κέρδος της τάξης των 603.000 €.** Επιπλέον, όπως παρατηρούμε από τη μήτρα κερδών (πίνακας 5.2), σε κάθε περίπτωση θα καταγράψουμε κέρδη, ακόμα και σε αυτήν του βου μελλοντικού σεναρίου, που είναι και το πιο δυσμενές. Αντίθετα, οι τέσσερις από τις πέντε άλλες βέλτιστες δράσεις, οδηγούν σε ζημιές για την επιχείρηση και μάλιστα σημαντικές, στην περίπτωση που επαληθευτεί το έκτο μελλοντικό σενάριο. Η βέλτιστη δράση 484, που εμφανίζει κέρδη αν προκύψει το έκτο μελλοντικό σενάριο, εμφανίζει σημαντικές ζημιές με την επαλήθευση του 5ου μελλοντικού σεναρίου και γενικώς είναι πολύ κατώτερη από την 420η δράση σύμφωνα με τα τέσσερα κριτήρια απόφασης.

Στο τέλος της διπλωματικής εργασίας, κατόπιν επιλύσεως του μοντέλου 1000 φορές σύμφωνα με τη στοχαστική ανάλυση Monte Carlo, **παρατηρούμε, ότι και στις δύο περιπτώσεις κατανομών μελλοντικών πωλήσεων, επαληθεύτηκε σαν επικρατέστερο σενάριο το 420, όπως και αναμενόταν.** Στην uniform κατανομή πωλήσεων, το σενάριο αυτό επικράτησε στο 42% των απαναλήψεων, ενώ στην normal κατανομή στο 44% τους.

Όμως, από τα αποτελέσματα της ανάλυσης Monte Carlo, παρατηρούμε ότι το σενάριο 480 ακολουθεί το 420ο και στις δύο περιπτώσεις, με αξιοπρόσεχτα ποσοστά εμφάνισης (31% και 39% αντίστοιχα). Το 480ο σενάριο ήταν επίσης και αυτό που προέκυπτε σαν βέλτιστο αν μελλοντικά επικρατούσαν οι συνθήκες του πρώτου μελλοντικού σεναρίου και αντιστοιχεί σε τιμή προϊόντος 480 €/tn, διαφημιστική δαπάνη 200.000 € , πίστωση προς τους πελάτες 50% και κόστος έρευνας και ανάπτυξης R&D 100.000 €.

Το σενάριο 480 επομένως, διαφέρει από το βέλτιστο σενάριο 420, μόνο ως προς την τιμή του προϊόντος η οποία είναι αυξημένη κατά 40 €/tn. Επιπλέον, σύμφωνα με το κριτήριο Laplace, η δράση 480 μας δίνει ένα μέσο κέρδος της τάξης των 650.000 €, ενώ η πιο συντηρητική δράση 420, αναμένεται να μας δώσει κέρδη της τάξης των 603.000 €.

Επίσης, το σενάριο 480, είναι και αυτό που προτείνει το κριτήριο απόφασης Laplace, γεγονός που το ισχυροποιεί κατά μεγάλο ποσοστό. Έτσι, στους επόμενους χρόνους λειτουργίας της επιχείρησης, και αν τα δεδομένα δεν έχουν αλλάξει, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η δράση 480 στην ανάλυση μας.

6.2 Μελλοντικές προοπτικές

Η διπλωματική αυτή εργασία είχε σαν αντικείμενο της, τη λήψη απόφασης για την επιχείρηση μόνο για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της. Αυτή η ανάλυση θα μπορούσε να πάει ένα βήμα παραπέρα και να πραγματοποιηθεί και σε δυναμικό πλέον επίπεδο. Μπορούμε δηλαδή, με βάση το μοντέλο που έχουμε ήδη συνθέσει, να αναχθούμε σε ένα δυναμικό, πιο εξελιγμένο μοντέλο που θα είναι σε θέση να καλύψει τη λήψη αποφάσεων για πολλά χρόνια λειτουργίας της επιχείρησης, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές των τιμών των μεταβλητών και των παραμέτρων που αναμενόμενα θα συμβούν με την πάροδο του χρόνου.

Ένα τέτοιο δυναμικό μοντέλο, θα μας παρείχε τις πληροφορίες για τα κέρδη που θα αποκόμιζε η επιχείρησή μας σε κάθε χρόνο λειτουργίας της ξεχωριστά και για βάθος ενός συγκεκριμένου αριθμού χρόνων. Με αυτό τον τρόπο, σενάρια που δεν εμφανίστηκαν σαν βέλτιστα στη στατική ανάλυσή μας, θα μπορούσαν σε βάθος χρόνου να εμφανιστούν ως ιδιαίτερα κερδοφόρα καθώς μπορεί να απαιτούν χρονικό διάστημα μεγαλύτερου του ενός χρόνου ώστε να αποδώσουν. Με αυτό τον τρόπο, μέσω της δυναμικής προσέγγισης του προβλήματος, θα μπορούσαμε να ανακαλύψουμε ακόμα πιο κερδοφόρες δράσεις για την επιχείρησή μας σε βάθος χρόνου. Βέβαια, ένα τέτοιο δυναμικό μοντέλο κρύβει και μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης σφάλματος, λόγω της πολυπλοκότητας του και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που πραγματεύεται. Είναι όμως ικανό αυτό να ανατρέψει τα πλεονεκτήματα του και τους δρόμους που μπορεί να ανοίξει στη λήψη αποφάσεων;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μαυρωτάς, Γ. (2000) Πολυκριτηριακός προγραμματισμός σε συνθήκες αβεβαιότητας, κατασκευή συστήματος υποστήριξης αποφάσεων και εφαρμογή στον ενεργειακό σχεδιασμό, διδακτορική διατριβή, Αθήνα.
- Μαυρωτάς, Γ. (2006) Εγχειρίδιο για Επιχειρηματικό Παιχνίδι σε Excel, <http://www-liee.chemeng.ntua.gr/eclass/CHEMENG104>
- Ξηρόκωστας, Δ. (1991) **Εφαρμοσμένος γραμμικός προγραμματισμός**, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Παπαρρίζος, Κ. (2001) **Γραμμικός προγραμματισμός**, Θεσσαλονίκη.
- Πραστάκος, Γ.Π. (2000) **Διοικητική επιστήμη: Λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων στην κοινωνία της πληροφορίας**, Εκδόσεις Σταμούλη, Πειραιάς.
- Σίσκος, Γ. (2008) **Μοντέλα αποφάσεων**, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.
- Σίσκος, Γ. (1998) **Γραμμικός προγραμματισμός**, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.
- Dantzig, G.B. and M. Thapa (1997) **Linear programming, Volumes 1, 2, 3**, Springer-Verlag, New York.
- French, S. (1988) **Decision theory: An introduction to the mathematics of rationality**, Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Garfinkel, R.S. and G.L. Nemhauser (1972) **Integer programming**, John Wiley, New York.
- Hadley, G. (1972) **Linear programming**, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.

- Savage, L.J. (1954) **The foundations of statistics**, John Wiley and Sons, New York.
- Steuer, R.E. (1985) **Multiple criteria optimization: Theory, Computation and application**, Wiley, New York.
- Zeleny, M. (1982) **Multiple criteria decision making**, MacGraw-Hill, New York.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α

Παραθέτουμε τυπικά το μοντέλο βελτιστοποίησης GAMS του business game με τις μελλοντικές πωλήσεις SALESC, που αφορούν το πέμπτο μελλοντικό σενάριο, βέλτιστη λύση του οποίου βρέθηκε το σενάριο 420 για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας.

Παράρτημα Β

Εδώ παραθέτουμε το τμήμα του μοντέλου GAMS του παραρτήματος Α που αφορά στη στοχαστική ανάλυση Monte Carlo, τόσο για την ομοιόμορφη κατανομή μελλοντικών πωλήσεων όσο και για την κανονική κατανομή.

Παράρτημα Γ

Παραθέτουμε τις λύσεις των 36 μοντέλων βελτιστοποίησης όπως δίνονται από το GAMS. Τα κέρδη από κάθε μία από αυτές τις 36 λύσεις (PROF), μας οδηγούν στη σύνθεση της μήτρας κερδών, όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 5.2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

SETS

I bchoice /1*540/

J dvar /'PRC','ADC','RDC','CRC','SALESC'/

T periods /1*7/

;

TABLE bp(I,J) scenarios

	PRC	ADC	RDC	CRC	SALESC
1	200	20000	20000	0.00	2726
2	200	20000	20000	0.10	2886
3	200	20000	20000	0.25	3054
4	200	20000	20000	0.50	3323
5	200	20000	50000	0.00	2987
6	200	20000	50000	0.10	3205
7	200	20000	50000	0.25	3434
8	200	20000	50000	0.50	3799
9	200	20000	100000	0.00	3323
10	200	20000	100000	0.10	3614
11	200	20000	100000	0.25	3921
12	200	20000	100000	0.50	4410
13	200	50000	20000	0.00	3029
14	200	50000	20000	0.10	3255
15	200	50000	20000	0.25	3494
16	200	50000	20000	0.50	3874
17	200	50000	50000	0.00	3399
18	200	50000	50000	0.10	3706
19	200	50000	50000	0.25	4031
20	200	50000	50000	0.50	4548
21	200	50000	100000	0.00	3874
22	200	50000	100000	0.10	4286
23	200	50000	100000	0.25	4721
24	200	50000	100000	0.50	5414
25	200	100000	20000	0.00	3447
26	200	100000	20000	0.10	3765
27	200	100000	20000	0.25	4101
28	200	100000	20000	0.50	4636
29	200	100000	50000	0.00	3967
30	200	100000	50000	0.10	4400
31	200	100000	50000	0.25	4857
32	200	100000	50000	0.50	5584
33	200	100000	100000	0.00	4636
34	200	100000	100000	0.10	5215
35	200	100000	100000	0.25	5827
36	200	100000	100000	0.50	6802
37	200	150000	20000	0.00	3890
38	200	150000	20000	0.10	4306

39	200	150000	20000	0.25	4745
40	200	150000	20000	0.50	5443
41	200	150000	50000	0.00	4570
42	200	150000	50000	0.10	5135
43	200	150000	50000	0.25	5732
44	200	150000	50000	0.50	6683
45	200	150000	100000	0.00	5443
46	200	150000	100000	0.10	6201
47	200	150000	100000	0.25	7000
48	200	150000	100000	0.50	8274
49	200	200000	20000	0.00	4410
50	200	200000	20000	0.10	4940
51	200	200000	20000	0.25	5500
52	200	200000	20000	0.50	6391
53	200	200000	50000	0.00	5277
54	200	200000	50000	0.10	5998
55	200	200000	50000	0.25	6759
56	200	200000	50000	0.50	7971
57	200	200000	100000	0.00	6391
58	200	200000	100000	0.10	7357
59	200	200000	100000	0.25	8376
60	200	200000	100000	0.50	10000
61	240	20000	20000	0.00	2623
62	240	20000	20000	0.10	2760
63	240	20000	20000	0.25	2905
64	240	20000	20000	0.50	3135
65	240	20000	50000	0.00	2847
66	240	20000	50000	0.10	3033
67	240	20000	50000	0.25	3230
68	240	20000	50000	0.50	3543
69	240	20000	100000	0.00	3135
70	240	20000	100000	0.10	3385
71	240	20000	100000	0.25	3648
72	240	20000	100000	0.50	4068
73	240	50000	20000	0.00	2883
74	240	50000	20000	0.10	3077
75	240	50000	20000	0.25	3282
76	240	50000	20000	0.50	3608
77	240	50000	50000	0.00	3200
78	240	50000	50000	0.10	3464
79	240	50000	50000	0.25	3743
80	240	50000	50000	0.50	4186
81	240	50000	100000	0.00	3608
82	240	50000	100000	0.10	3961
83	240	50000	100000	0.25	4335
84	240	50000	100000	0.50	4929
85	240	100000	20000	0.00	3241
86	240	100000	20000	0.10	3514
87	240	100000	20000	0.25	3802
88	240	100000	20000	0.50	4261
89	240	100000	50000	0.00	3688

90	240	100000	50000	0.10	4059
91	240	100000	50000	0.25	4451
92	240	100000	50000	0.50	5075
93	240	100000	100000	0.00	4261
94	240	100000	100000	0.10	4759
95	240	100000	100000	0.25	5284
96	240	100000	100000	0.50	6120
97	240	150000	20000	0.00	3622
98	240	150000	20000	0.10	3978
99	240	150000	20000	0.25	4355
100	240	150000	20000	0.50	4954
101	240	150000	50000	0.00	4205
102	240	150000	50000	0.10	4690
103	240	150000	50000	0.25	5202
104	240	150000	50000	0.50	6018
105	240	150000	100000	0.00	4954
106	240	150000	100000	0.10	5604
107	240	150000	100000	0.25	6290
108	240	150000	100000	0.50	7383
109	240	200000	20000	0.00	4068
110	240	200000	20000	0.10	4523
111	240	200000	20000	0.25	5003
112	240	200000	20000	0.50	5767
113	240	200000	50000	0.00	4812
114	240	200000	50000	0.10	5430
115	240	200000	50000	0.25	6083
116	240	200000	50000	0.50	7123
117	240	200000	100000	0.00	5767
118	240	200000	100000	0.10	6596
119	240	200000	100000	0.25	7471
120	240	200000	100000	0.50	8864
121	280	20000	20000	0.00	2532
122	280	20000	20000	0.10	2649
123	280	20000	20000	0.25	2773
124	280	20000	20000	0.50	2970
125	280	20000	50000	0.00	2724
126	280	20000	50000	0.10	2883
127	280	20000	50000	0.25	3051
128	280	20000	50000	0.50	3318
129	280	20000	100000	0.00	2970
130	280	20000	100000	0.10	3183
131	280	20000	100000	0.25	3408
132	280	20000	100000	0.50	3766
133	280	50000	20000	0.00	2754
134	280	50000	20000	0.10	2920
135	280	50000	20000	0.25	3095
136	280	50000	20000	0.50	3373
137	280	50000	50000	0.00	3025
138	280	50000	50000	0.10	3251
139	280	50000	50000	0.25	3489
140	280	50000	50000	0.50	3868

141	280	50000	100000	0.00	3373
142	280	50000	100000	0.10	3676
143	280	50000	100000	0.25	3995
144	280	50000	100000	0.50	4502
145	280	100000	20000	0.00	3060
146	280	100000	20000	0.10	3293
147	280	100000	20000	0.25	3540
148	280	100000	20000	0.50	3932
149	280	100000	50000	0.00	3442
150	280	100000	50000	0.10	3759
151	280	100000	50000	0.25	4094
152	280	100000	50000	0.50	4627
153	280	100000	100000	0.00	3932
154	280	100000	100000	0.10	4356
155	280	100000	100000	0.25	4805
156	280	100000	100000	0.50	5519
157	280	150000	20000	0.00	3385
158	280	150000	20000	0.10	3690
159	280	150000	20000	0.25	4012
160	280	150000	20000	0.50	4524
161	280	150000	50000	0.00	3884
162	280	150000	50000	0.10	4298
163	280	150000	50000	0.25	4735
164	280	150000	50000	0.50	5432
165	280	150000	100000	0.00	4524
166	280	150000	100000	0.10	5079
167	280	150000	100000	0.25	5665
168	280	150000	100000	0.50	6598
169	280	200000	20000	0.00	3766
170	280	200000	20000	0.10	4155
171	280	200000	20000	0.25	4565
172	280	200000	20000	0.50	5218
173	280	200000	50000	0.00	4402
174	280	200000	50000	0.10	4930
175	280	200000	50000	0.25	5488
176	280	200000	50000	0.50	6376
177	280	200000	100000	0.00	5218
178	280	200000	100000	0.10	5926
179	280	200000	100000	0.25	6673
180	280	200000	100000	0.50	7863
181	320	20000	20000	0.00	2452
182	320	20000	20000	0.10	2551
183	320	20000	20000	0.25	2656
184	320	20000	20000	0.50	2823
185	320	20000	50000	0.00	2614
186	320	20000	50000	0.10	2749
187	320	20000	50000	0.25	2892
188	320	20000	50000	0.50	3119
189	320	20000	100000	0.00	2823
190	320	20000	100000	0.10	3004
191	320	20000	100000	0.25	3195

192	320	20000	100000	0.50	3499
193	320	50000	20000	0.00	2640
194	320	50000	20000	0.10	2780
195	320	50000	20000	0.25	2929
196	320	50000	20000	0.50	3165
197	320	50000	50000	0.00	2870
198	320	50000	50000	0.10	3061
199	320	50000	50000	0.25	3263
200	320	50000	50000	0.50	3585
201	320	50000	100000	0.00	3165
202	320	50000	100000	0.10	3422
203	320	50000	100000	0.25	3692
204	320	50000	100000	0.50	4123
205	320	100000	20000	0.00	2900
206	320	100000	20000	0.10	3098
207	320	100000	20000	0.25	3306
208	320	100000	20000	0.50	3639
209	320	100000	50000	0.00	3223
210	320	100000	50000	0.10	3492
211	320	100000	50000	0.25	3777
212	320	100000	50000	0.50	4229
213	320	100000	100000	0.00	3639
214	320	100000	100000	0.10	4000
215	320	100000	100000	0.25	4380
216	320	100000	100000	0.50	4986
217	320	150000	20000	0.00	3175
218	320	150000	20000	0.10	3434
219	320	150000	20000	0.25	3707
220	320	150000	20000	0.50	4141
221	320	150000	50000	0.00	3598
222	320	150000	50000	0.10	3950
223	320	150000	50000	0.25	4321
224	320	150000	50000	0.50	4912
225	320	150000	100000	0.00	4141
226	320	150000	100000	0.10	4612
227	320	150000	100000	0.25	5110
228	320	150000	100000	0.50	5902
229	320	200000	20000	0.00	3499
230	320	200000	20000	0.10	3828
231	320	200000	20000	0.25	4177
232	320	200000	20000	0.50	4731
233	320	200000	50000	0.00	4038
234	320	200000	50000	0.10	4486
235	320	200000	50000	0.25	4960
236	320	200000	50000	0.50	5713
237	320	200000	100000	0.00	4731
238	320	200000	100000	0.10	5331
239	320	200000	100000	0.25	5965
240	320	200000	100000	0.50	6975
241	360	20000	20000	0.00	2379
242	360	20000	20000	0.10	2462

243	360	20000	20000	0.25	2550
244	360	20000	20000	0.50	2691
245	360	20000	50000	0.00	2516
246	360	20000	50000	0.10	2629
247	360	20000	50000	0.25	2749
248	360	20000	50000	0.50	2939
249	360	20000	100000	0.00	2691
250	360	20000	100000	0.10	2843
251	360	20000	100000	0.25	3003
252	360	20000	100000	0.50	3258
253	360	50000	20000	0.00	2537
254	360	50000	20000	0.10	2655
255	360	50000	20000	0.25	2780
256	360	50000	20000	0.50	2978
257	360	50000	50000	0.00	2730
258	360	50000	50000	0.10	2891
259	360	50000	50000	0.25	3060
260	360	50000	50000	0.50	3330
261	360	50000	100000	0.00	2978
262	360	50000	100000	0.10	3194
263	360	50000	100000	0.25	3421
264	360	50000	100000	0.50	3783
265	360	100000	20000	0.00	2755
266	360	100000	20000	0.10	2921
267	360	100000	20000	0.25	3097
268	360	100000	20000	0.50	3376
269	360	100000	50000	0.00	3027
270	360	100000	50000	0.10	3253
271	360	100000	50000	0.25	3491
272	360	100000	50000	0.50	3871
273	360	100000	100000	0.00	3376
274	360	100000	100000	0.10	3679
275	360	100000	100000	0.25	3998
276	360	100000	100000	0.50	4507
277	360	150000	20000	0.00	2987
278	360	150000	20000	0.10	3204
279	360	150000	20000	0.25	3433
280	360	150000	20000	0.50	3798
281	360	150000	50000	0.00	3342
282	360	150000	50000	0.10	3637
283	360	150000	50000	0.25	3949
284	360	150000	50000	0.50	4445
285	360	150000	100000	0.00	3798
286	360	150000	100000	0.10	4193
287	360	150000	100000	0.25	4611
288	360	150000	100000	0.50	5275
289	360	200000	20000	0.00	3258
290	360	200000	20000	0.10	3535
291	360	200000	20000	0.25	3827
292	360	200000	20000	0.50	4292
293	360	200000	50000	0.00	3711

294	360	20000	50000	0.10	4087
295	360	200000	50000	0.25	4485
296	360	200000	50000	0.50	5117
297	360	200000	100000	0.00	4292
298	360	200000	100000	0.10	4797
299	360	200000	100000	0.25	5329
300	360	200000	100000	0.50	6177
301	400	20000	20000	0.00	2313
302	400	20000	20000	0.10	2381
303	400	20000	20000	0.25	2454
304	400	20000	20000	0.50	2569
305	400	20000	50000	0.00	2425
306	400	20000	50000	0.10	2518
307	400	20000	50000	0.25	2617
308	400	20000	50000	0.50	2774
309	400	20000	100000	0.00	2569
310	400	20000	100000	0.10	2695
311	400	20000	100000	0.25	2827
312	400	20000	100000	0.50	3037
313	400	50000	20000	0.00	2443
314	400	50000	20000	0.10	2540
315	400	50000	20000	0.25	2643
316	400	50000	20000	0.50	2807
317	400	50000	50000	0.00	2602
318	400	50000	50000	0.10	2734
319	400	50000	50000	0.25	2874
320	400	50000	50000	0.50	3097
321	400	50000	100000	0.00	2807
322	400	50000	100000	0.10	2984
323	400	50000	100000	0.25	3171
324	400	50000	100000	0.50	3470
325	400	100000	20000	0.00	2623
326	400	100000	20000	0.10	2760
327	400	100000	20000	0.25	2904
328	400	100000	20000	0.50	3135
329	400	100000	50000	0.00	2847
330	400	100000	50000	0.10	3033
331	400	100000	50000	0.25	3230
332	400	100000	50000	0.50	3543
333	400	100000	100000	0.00	3135
334	400	100000	100000	0.10	3384
335	400	100000	100000	0.25	3648
336	400	100000	100000	0.50	4067
337	400	150000	20000	0.00	2814
338	400	150000	20000	0.10	2992
339	400	150000	20000	0.25	3181
340	400	150000	20000	0.50	3482
341	400	150000	50000	0.00	3106
342	400	150000	50000	0.10	3350
343	400	150000	50000	0.25	3607
344	400	150000	50000	0.50	4016

345	400	150000	100000	0.00	3482
346	400	150000	100000	0.10	3808
347	400	150000	100000	0.25	4152
348	400	150000	100000	0.50	4700
349	400	200000	20000	0.00	3037
350	400	200000	20000	0.10	3266
351	400	200000	20000	0.25	3507
352	400	200000	20000	0.50	3890
353	400	200000	50000	0.00	3411
354	400	200000	50000	0.10	3721
355	400	200000	50000	0.25	4049
356	400	200000	50000	0.50	4570
357	400	200000	100000	0.00	3890
358	400	200000	100000	0.10	4306
359	400	200000	100000	0.25	4745
360	400	200000	100000	0.50	5444
361	440	20000	20000	0.00	2249
362	440	20000	20000	0.10	2304
363	440	20000	20000	0.25	2362
364	440	20000	20000	0.50	2454
365	440	20000	50000	0.00	2339
366	440	20000	50000	0.10	2413
367	440	20000	50000	0.25	2492
368	440	20000	50000	0.50	2617
369	440	20000	100000	0.00	2454
370	440	20000	100000	0.10	2554
371	440	20000	100000	0.25	2659
372	440	20000	100000	0.50	2827
373	440	50000	20000	0.00	2353
374	440	50000	20000	0.10	2431
375	440	50000	20000	0.25	2513
376	440	50000	20000	0.50	2643
377	440	50000	50000	0.00	2480
378	440	50000	50000	0.10	2586
379	440	50000	50000	0.25	2697
380	440	50000	50000	0.50	2874
381	440	50000	100000	0.00	2643
382	440	50000	100000	0.10	2784
383	440	50000	100000	0.25	2934
384	440	50000	100000	0.50	3172
385	440	100000	20000	0.00	2496
386	440	100000	20000	0.10	2606
387	440	100000	20000	0.25	2721
388	440	100000	20000	0.50	2904
389	440	100000	50000	0.00	2675
390	440	100000	50000	0.10	2823
391	440	100000	50000	0.25	2980
392	440	100000	50000	0.50	3230
393	440	100000	100000	0.00	2904
394	440	100000	100000	0.10	3103
395	440	100000	100000	0.25	3313

396	440	100000	100000	0.50	3648
397	440	150000	20000	0.00	2649
398	440	150000	20000	0.10	2791
399	440	150000	20000	0.25	2942
400	440	150000	20000	0.50	3182
401	440	150000	50000	0.00	2882
402	440	150000	50000	0.10	3076
403	440	150000	50000	0.25	3281
404	440	150000	50000	0.50	3607
405	440	150000	100000	0.00	3182
406	440	150000	100000	0.10	3441
407	440	150000	100000	0.25	3716
408	440	150000	100000	0.50	4153
409	440	200000	20000	0.00	2827
410	440	200000	20000	0.10	3009
411	440	200000	20000	0.25	3201
412	440	200000	20000	0.50	3507
413	440	200000	50000	0.00	3125
414	440	200000	50000	0.10	3372
415	440	200000	50000	0.25	3633
416	440	200000	50000	0.50	4049
417	440	200000	100000	0.00	3507
418	440	200000	100000	0.10	3838
419	440	200000	100000	0.25	4188
420	440	200000	100000	0.50	4745
421	480	20000	20000	0.00	2184
422	480	20000	20000	0.10	2224
423	480	20000	20000	0.25	2267
424	480	20000	20000	0.50	2335
425	480	20000	50000	0.00	2250
426	480	20000	50000	0.10	2305
427	480	20000	50000	0.25	2363
428	480	20000	50000	0.50	2456
429	480	20000	100000	0.00	2335
430	480	20000	100000	0.10	2409
431	480	20000	100000	0.25	2487
432	480	20000	100000	0.50	2610
433	480	50000	20000	0.00	2261
434	480	50000	20000	0.10	2318
435	480	50000	20000	0.25	2378
436	480	50000	20000	0.50	2475
437	480	50000	50000	0.00	2354
438	480	50000	50000	0.10	2432
439	480	50000	50000	0.25	2514
440	480	50000	50000	0.50	2645
441	480	50000	100000	0.00	2475
442	480	50000	100000	0.10	2579
443	480	50000	100000	0.25	2689
444	480	50000	100000	0.50	2865
445	480	100000	20000	0.00	2366
446	480	100000	20000	0.10	2447

447	480	100000	20000	0.25	2532
448	480	100000	20000	0.50	2668
449	480	100000	50000	0.00	2498
450	480	100000	50000	0.10	2608
451	480	100000	50000	0.25	2724
452	480	100000	50000	0.50	2908
453	480	100000	100000	0.00	2668
454	480	100000	100000	0.10	2814
455	480	100000	100000	0.25	2969
456	480	100000	100000	0.50	3216
457	480	150000	20000	0.00	2479
458	480	150000	20000	0.10	2584
459	480	150000	20000	0.25	2695
460	480	150000	20000	0.50	2872
461	480	150000	50000	0.00	2651
462	480	150000	50000	0.10	2794
463	480	150000	50000	0.25	2945
464	480	150000	50000	0.50	3186
465	480	150000	100000	0.00	2872
466	480	150000	100000	0.10	3064
467	480	150000	100000	0.25	3266
468	480	150000	100000	0.50	3589
469	480	200000	20000	0.00	2610
470	480	200000	20000	0.10	2745
471	480	200000	20000	0.25	2886
472	480	200000	20000	0.50	3112
473	480	200000	50000	0.00	2830
474	480	200000	50000	0.10	3013
475	480	200000	50000	0.25	3205
476	480	200000	50000	0.50	3512
477	480	200000	100000	0.00	3112
478	480	200000	100000	0.10	3357
479	480	200000	100000	0.25	3615
480	480	200000	100000	0.50	4026
481	500	20000	20000	0.00	2147
482	500	20000	20000	0.10	2179
483	500	20000	20000	0.25	2213
484	500	20000	20000	0.50	2267
485	500	20000	50000	0.00	2199
486	500	20000	50000	0.10	2243
487	500	20000	50000	0.25	2290
488	500	20000	50000	0.50	2363
489	500	20000	100000	0.00	2267
490	500	20000	100000	0.10	2326
491	500	20000	100000	0.25	2388
492	500	20000	100000	0.50	2487
493	500	50000	20000	0.00	2208
494	500	50000	20000	0.10	2253
495	500	50000	20000	0.25	2302
496	500	50000	20000	0.50	2378
497	500	50000	50000	0.00	2283

498	500	50000	50000	0.10	2345
499	500	50000	50000	0.25	2410
500	500	50000	50000	0.50	2515
501	500	50000	100000	0.00	2378
502	500	50000	100000	0.10	2462
503	500	50000	100000	0.25	2550
504	500	50000	100000	0.50	2690
505	500	100000	20000	0.00	2292
506	500	100000	20000	0.10	2356
507	500	100000	20000	0.25	2424
508	500	100000	20000	0.50	2532
509	500	100000	50000	0.00	2397
510	500	100000	50000	0.10	2485
511	500	100000	50000	0.25	2577
512	500	100000	50000	0.50	2724
513	500	100000	100000	0.00	2532
514	500	100000	100000	0.10	2649
515	500	100000	100000	0.25	2773
516	500	100000	100000	0.50	2970
517	500	150000	20000	0.00	2382
518	500	150000	20000	0.10	2466
519	500	150000	20000	0.25	2554
520	500	150000	20000	0.50	2695
521	500	150000	50000	0.00	2519
522	500	150000	50000	0.10	2633
523	500	150000	50000	0.25	2754
524	500	150000	50000	0.50	2946
525	500	150000	100000	0.00	2695
526	500	150000	100000	0.10	2848
527	500	150000	100000	0.25	3010
528	500	150000	100000	0.50	3267
529	500	200000	20000	0.00	2487
530	500	200000	20000	0.10	2594
531	500	200000	20000	0.25	2707
532	500	200000	20000	0.50	2887
533	500	200000	50000	0.00	2662
534	500	200000	50000	0.10	2807
535	500	200000	50000	0.25	2961
536	500	200000	50000	0.50	3206
537	500	200000	100000	0.00	2887
538	500	200000	100000	0.10	3082
539	500	200000	100000	0.25	3288
540	500	200000	100000	0.50	3616

;

SCALAR

rmpr price of raw material /150/
rmstc storage cost coefficient /0.05/
invcs investment cost for small unit /150000/
invcm investment cost for medium unit /400000/
invcb investment cost for big unit /800000/
nlabc normal labor cost /30/
otlbc overtime labor cost /50/
ovhclc production overhead coefficient /0.5/
ovhcinvc investment overhead coefficient /0.05/
deprc depreciation coefficient /0.1/
fpstc final product storage cost/0.02/
admssc coefficient of administration cost depended on the sales/0.1/
admfxc administration fixed cost/0.05/
ltintr long term loan interest/0.12/
stintr short term loan interest/0.1/
spb selling price of big unit/ 135000/
spm selling price of medium unit/360000/
sps selling price of small unit/720000/
taxf tax coefficient/0.35/
supcr supplier's credits/0.1/
crf capital recovery factor/0.163/
wp weight coefficient for profit /0.7/
pdun unit production cost
;

$pdun=1.1*(0.8*nlabc+0.2*otlbc+rmpr);$

POSITIVE VARIABLES

AD advertising
PR price
CR credit
RM raw material
RD R&D
PD production
LL long term loan taken in this period
SL short term loan taken in this period
*SALES sales in physical units
RMTOTC raw material cost
RMST0 raw material from previous period
RMSTN raw material stocked for next period
CAPNEW capacity new
CAPEX existed capacity in the beginning of period
CAP total capacity available
BEQCOST cost of bought equipment
NPD normal production
OTPD overtime production
LABC labor cost
OVHDC overhead
PDC production cost
SCOST selling items cost

FPST0 stock of final product from previous period
FPSTN stock of final product to next period
INCOM income
ADMIN administrator expenses
DEPR depreciation
PRBT profit before taxes
LOSS loss before taxes
LTLN long term loan
LLO existed long term loan
LLN long term loan remainder for the next period
INTRST loan interests
DIV dividend
TRSR apothematiko
ACTINC actual income from sales
SEQREV revenue from equipment sold
INFLOW inflow
OUTFLOW outflow
GARBG product that cannot be stored for the next period
PYCR previous year credit that we gave to the customers and must be received this year
PYRMCR previous year credit that we receive by suppliers and must be paid this year
CASH0 initial cash
CASH cash at the end of the period
;

INTEGER VARIABLES

USB big units sold
USM medium units sold
USS small units sold
UBB big units bought
UBM medium units bought
UBS small units bought
UXB existed big units
UXM existed medium units
UXS existed small units
;

BINARY VARIABLES

B(I) binary variable for i-th scenario

FREE VARIABLES

PROF net profit
SALES sales
PERFORM the total performance (between 0 and 1)
;

EQUATIONS

EQ_AD definition of advertising cost
EQ_CR definition of credit
EQ_SALES definition of sales
EQ_RD definition of RD
EQ_ACTINC definition of actual income

EQ_INCOM definition of book income from sales
 EQ_PR definition of price
 EQ_SUM mutually exclusive alternatives

 EQ_RMTOTC total material cost
 EQ_RMSTN raw material stored for next period
 EQ_CAPNEW new capacity
 EQ_CAPEX existed capacity
 EQ_CAP total capacity
 EQ_USS selling small units constraint
 EQ_USM selling small units constraint
 EQ_USB selling small units constraint
 EQ_BEQCOST investment cost for new capacity
 EQ_NPD normal production less than capacity
 EQ_OTPD overtime production less than 50% of nominal capacity
 EQ_PD definition of production
 EQ_PDMIN technical minimum on production
 EQ_LABC definition of labour cost
 EQ_OVHDC definition of overhead cost
 EQ_PDC definition of production cost
 EQ_FPSTN final product stock for next period
 EQ_BFPSTN final product stock must be less than 50% of nominal capacity
 EQ_SCOST cost of sales
 EQ_ADMIN administration cost
 EQ_LTLN Long term loan
 EQ_LLN remainder of the long term loan for the next period
 EQ_BLOAN bound the total loan per period to 80% of own capital
 EQ_LLINV long term loan must be less than the investment cost
 EQ_INTRST interests
 EQ_DEPR definition of depreciation cost
 EQ_PRBT calculation of profit before taxes
 EQ_PROF calculation of net profit
 EQ_DIV net profit is split into dividend and treasure
 EQ_SEQREV revenues from selling equipment
 EQ_INFLOW calculation of period inflow
 EQ_OUTFLOW calculation of period outflow
 EQ_BALANCE inflow plus the existed cash must be greater than the outflow
 EQ_PERFORM objective function as combination of profit and sales
 ;

EQ_AD..sum(I,bp(I,'ADC')*B(I))=e=AD ;
 EQ_CR..sum(I,bp(I,'CRC')*B(I))=e=CR ;
 EQ_SALES.. sum(I,bp(I,'SALESC')*B(I))=e=SALES ;
 EQ_RD.. sum(I,bp(I,'RDC')*B(I))=e=RD ;
 EQ_ACTINC..sum(I,bp(I,'PRC')*bp(I,'SALESC')*B(I))-
 sum(I,bp(I,'CRC')*bp(I,'PRC')*bp(I,'SALESC')*B(I))=e=ACTINC ;
 EQ_INCOM..sum(I,bp(I,'PRC')*bp(I,'SALESC')*B(I))=e=INCOM ;
 *EQ_ACTINC..sum(I,bp(I,'ACTINCC')*B(I))=e=ACTINC ;
 *EQ_INCOM..sum(I,bp(I,'INCOMEC')*B(I))=e=INCOM ;
 EQ_PR..sum(I,bp(I,'PRC')*B(I))=e=PR ;
 EQ_SUM..sum(I,B(I))=e=1 ;

EQ_RMTOTC..RMSTO*rmpr+RM*rmpr+RMSTO*(rmpr*rmstc)=e=RMTOTC ;
 EQ_RMSTN..RM+RMSTO-PD=e=RMSTN ;
 EQ_CAPNEW..500*UBS+2000*UBM+5000*UBB-500*USS-2000*USM-5000*USB=e=CAPNEW
 ;
 EQ_CAPEX..CAPEX - 500*UXS - 2000*UXM-5000*UXB =e= 0 ;
 EQ_CAP..CAP=e=CAPEX+CAPNEW;
 EQ_USS.. USS =|= UXS ;
 EQ_USM.. USM =|= UXM ;
 EQ_USB.. USB =|= UXB ;
 EQ_BEQCOST..invcs*UBS+invcm*UBM+invcb*UBB=e=BEQCOST ;
 EQ_NPD.. NPD =|= CAP ;
 EQ_OTPD.. OTPD =|= 0.5*CAP ;
 EQ_PD.. PD =e= NPD+OTPD ;
 EQ_PDMIN.. PD =g= 0.3*CAP;
 EQ_LABC..NPD*nlabc+OTPD*otlbc=e= LABC ;
 EQ_OVHDC.. LABC*ovhclc+(DEPR/deprc)*ovhcinvc=e=OVHDC ;
 EQ_PDC..RMTOTC+LABC+OVHDC+RD=e=PDC ;
 EQ_FPSTN..FPSTO-GARBG+PD-SALES=e=FPSTN ;
 EQ_BFPSTN..FPSTN =|= 0.5*CAP ;
 EQ_SCOST..FPSTO*pdun+FPSTO*(pdun*fpstc)+PDC-FPSTN*pdun-RMSTN*rmpr=e=SCOST ;
 EQ_ADMIN..SALES*admssc+(DEPR/deprc)*admfxc=e=ADMIN ;
 EQ_LTLN..LL+LL0=e=LTLN ;
 EQ_LLN..(1-ltintr)*LTLN=e=LLN ;
 EQ_BLOAN.. LL+SL =|= 0.8*CASH0 ;
 EQ_LLINV.. LL =|= BEQCOST ;
 EQ_INTRST..ltintr*LTLN+stintr*SL=e=INTRST ;
 EQ_DEPR..deprc*(invcb*(UBB-USB+UXB)+ invcm*(UBM-USM+UXM) + invcs*(UBS-
 USS+UXS))=e=DEPR ;
 EQ_PRBT..INCOM-SCOST-ADMIN-AD-INTRST-DEPR=e=PRBT-LOSS ;
 EQ_PROF..(PRBT-LOSS)*(1-taxf)=e=PROF ;
 EQ_DIV..DIV+TRSR=e=PROF ;
 EQ_SEQREV..spb*USB + spm*USM + sps*USS=e=SEQREV ;
 EQ_INFLOW..ACTINC + PYCR + LL + SEQREV +SL=e=INFLOW ;
 EQ_OUTFLOW..RM*rmpr*(1-supcr) + PYRMCR + RMSTO*(rmpr*rmstc) + FPSTO*(pdun*fpstc)
 + LABC + OVHDC + RD +
 ADMIN + AD + BEQCOST + crf*LTLN+ (1+stintr)*SL + DIV + taxf*PRBT =e=OUTFLOW ;
 EQ_BALANCE..INFLOW + CASH0 - OUTFLOW =e= CASH;
 EQ_PERFORM..wp*(PROF-579)/(532431-579)+(1-wp)*(SALES-3361)/(7563-
 3361)=e=PERFORM;

*initialization parameters

PYCR.FX=0;
 PYRMCR.FX=0;
 CASH0.FX=1000000;
 UXS.FX=0;
 UXM.FX=0;
 UXB.FX=0;
 RMSTO.FX=0;
 FPSTO.FX=0;

```
LLO.FX=0;
CASH.LO=50000;
File fx / c:\gams\firm_model_mmr_5.out /;
```

```
SALES.LO=0;
```

```
model firmmodel /all/ ;
option optcr=0.0;
```

```
solve firmmodel using MIP maximizing PROF
```

```
put fx 'scenario: ';
loop(l,
  if (B.L(l)=1, put fx l.tl:4 /)
)
put fx 'PRICE'@12 PR.L:8:0 /;
put fx 'ADV'@12 AD.L:8:0 /;
put fx 'CREDIT'@12 CR.L:8:2 /;
put fx 'RAWMAT'@12 RM.L:8:0 /;
put fx 'R&D'@12 RD.L:8:0 /;
put fx 'PROD'@12 PD.L:8:0 /;
put fx 'LTLOAN'@12 LL.L:8:0 /;
put fx 'STLOAL'@12 SL.L:8:0 /;
put fx 'SALES'@12 SALES.L:8:0 /;
put fx 'CAPACITY'@12 CAP.L:8:0 /;
put fx 'INCOME'@12 INCOM.L:8:0 /;
put fx 'ACTUALINC.'@12 ACTINC.L:8:0 /;
put fx 'LOSS'@12 LOSS.L:8:0 /;
put fx 'PROF'@12 PROF.L:8:0 /;
put fx 'INFLOW'@12 INFLOW.L:8:0 /;
put fx 'OUTFLOW'@12 OUTFLOW.L:8:0 /;
put fx 'CASH'@12 CASH.L:8:0 /;
put fx 'GARBG'@12 GARBG.L:8:0 /;
put fx 'RMSTN'@12 RMSTN.L:8:0 /;
put fx 'FPSTN'@12 FPSTN.L:8:0 /;
put /;
```

```
putclose fx;
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Τμήμα μοντέλου ομοιόμορφης κατανομής πωλήσεων

```
model firmodel /all/ ;
option optcr=0.0;

option seed=3141;

put fx ' # SCENAR  PRICE  ADV CREDIT  R&D  PROF  SALES  PROD CAPACIT INCOME
ACTINC  CASH SALESP rsales tsales'/;

for(iter=1 to 1000,

  loop(l,

    tsales(l)=round(uniform(0.9*bp(l,'SALESP'),1.1*bp(l,'SALESP')));
    rsales(l)=min(tsales(l),1.05*bp(l,'SALESP'));
  );

  solve firmodel using MIP maximizing PROF;
  put fx iter:4:0;
  loop(l,
    if (B.L(l)=1, put fx ' ',l.tl)
  )
  put fx PR.L:4:0 ;
  put fx AD.L:8:0 ;
  put fx CR.L:8:2 ;
  put fx RD.L:8:0 ;
  put fx PROF.L:8:0 ;
  put fx SALES.L:8:0 ;
  put fx PD.L:8:0 ;
  put fx CAP.L:8:0 ;
  put fx INCOM.L:8:0 ;
  put fx ACTINC.L:8:0 ;
  put fx CASH.L:8:0 ;
  loop(l, if (B.L(l)=1,
    put bp(l,'SALESP'):8:0;
    put rsales(l):8:0;
    put tsales(l):8:0)
  );

  put fx /;
);
```

Τμήμα μοντέλου κανονικής κατανομής πωλήσεων

```
model firmodel /all/ ;
option optcr=0.0;

option seed=3141;

put fx ' # SCENAR  PRICE  ADV CREDIT  R&D  PROF  SALES  PROD CAPACIT INCOME
ACTINC  CASH SALESP rsales tsales'/;

for(iter=1 to 1000,

loop(l,
  tsales(l)=normal(bp(l,'SALESP'),0.033*bp(l,'SALESP')) ;

  rsales(l)=min(tsales(l),1.05*bp(l,'SALESP'));
);

solve firmodel using MIP maximizing PROF;
put fx iter:4:0;
loop(l,
  if (B.L(l)=1, put fx ' ',l.tl)
  )
put fx PR.L:4:0 ;
put fx AD.L:8:0 ;
put fx CR.L:8:2 ;
put fx RD.L:8:0 ;
put fx PROF.L:8:0 ;
put fx SALES.L:8:0 ;
put fx PD.L:8:0 ;
put fx CAP.L:8:0 ;
put fx INCOM.L:8:0 ;
put fx ACTINC.L:8:0 ;
put fx CASH.L:8:0 ;
loop(l, if (B.L(l)=1,
  put bp(l,'SALESP'):8:0;
  put rsales(l):8:0;
  put tsales(l):8:0)
);

put fx /;
);
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **πρώτο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7059	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7059	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	443919	LTLOAN	0	LTLOAN	0
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	7059	ASALES	6054	ASALES	6054
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3388320	INCOME	2905920	INCOME	2905920
ACTUALINC.	1694160	ACTUALINC.	2179440	ACTUALINC.	2179440
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	933445	PROF	813844	PROF	813844
INFLOW	2138079	INFLOW	2179440	INFLOW	2179440
OUTFLOW	3088079	OUTFLOW	2979129	OUTFLOW	2979129
CASH	50000	CASH	200311	CASH	200311
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	0	FPSTN	1376	FPSTN	1376

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	76419	LTLOAN	519671	LTLOAN	794494
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	4979	ASALES	7430	ASALES	3422
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	2389920	INCOME	3269200	INCOME	1711000
ACTUALINC.	1792440	ACTUALINC.	1634600	ACTUALINC.	855500
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	678980	PROF	795825	PROF	259720
INFLOW	1868859	INFLOW	2154271	INFLOW	1649994
OUTFLOW	2818859	OUTFLOW	3104271	OUTFLOW	2599994
CASH	50000	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	2451	FPSTN	0	FPSTN	4008

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **δεύτερο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7430	RAWMAT	7783	RAWMAT	7430
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7430	PROD	7783	PROD	7430
LTLOAN	468954	LTLOAN	0	LTLOAN	0
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	7430	ASALES	7783	ASALES	7430
CAPACITY	5000	CAPACITY	5500	CAPACITY	5000
INCOME	3566400	INCOME	3735840	INCOME	3566400
ACTUALINC.	1783200	ACTUALINC.	2801880	ACTUALINC.	2674800
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	992961	PROF	1110776	PROF	1062040
INFLOW	2252154	INFLOW	2801880	INFLOW	2674800
OUTFLOW	3202154	OUTFLOW	3363319	OUTFLOW	3112910
CASH	50000	CASH	438561	CASH	561890
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	0	FPSTN	0	FPSTN	0

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	0	LTLOAN	519671	LTLOAN	674461
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	7260	ASALES	7430	ASALES	4830
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3484800	INCOME	3269200	INCOME	2415000
ACTUALINC.	2613600	ACTUALINC.	1634600	ACTUALINC.	1207500
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	1096376	PROF	795825	PROF	726591
INFLOW	2613600	INFLOW	2154271	INFLOW	1881961
OUTFLOW	3031382	OUTFLOW	3104271	OUTFLOW	2831961
CASH	582218	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	170	FPSTN	0	FPSTN	2600

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **τρίτο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7321
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7321
LTLOAN	468954	LTLOAN	0	LTLOAN	0
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	7430	ASALES	7321	ASALES	7321
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3566400	INCOME	3514080	INCOME	3514080
ACTUALINC.	1783200	ACTUALINC.	2635560	ACTUALINC.	2635560
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	992961	PROF	1042379	PROF	1043980
INFLOW	2252154	INFLOW	2635560	INFLOW	2635560
OUTFLOW	3202154	OUTFLOW	3102313	OUTFLOW	3080285
CASH	50000	CASH	533247	CASH	555275
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	0	FPSTN	109	FPSTN	0

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	0	LTLOAN	519671	LTLOAN	689636
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	6904	ASALES	7430	ASALES	4652
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3313920	INCOME	3269200	INCOME	2326000
ACTUALINC.	2485440	ACTUALINC.	1634600	ACTUALINC.	1163000
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	1032162	PROF	795825	PROF	667569
INFLOW	2485440	INFLOW	2154271	INFLOW	1852636
OUTFLOW	2996770	OUTFLOW	3104271	OUTFLOW	2802636
CASH	488670	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	526	FPSTN	0	FPSTN	2778

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **τέταρτο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	599709	LTLOAN	0	LTLOAN	0
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	6625	ASALES	6496	ASALES	6496
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3180000	INCOME	3118080	INCOME	3118080
ACTUALINC.	1590000	ACTUALINC.	2338560	ACTUALINC.	2338560
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	837560	PROF	893569	PROF	893569
INFLOW	2189709	INFLOW	2338560	INFLOW	2338560
OUTFLOW	3139709	OUTFLOW	3022102	OUTFLOW	3022102
CASH	50000	CASH	316458	CASH	316458
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	805	FPSTN	934	FPSTN	934

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	6258	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	6258	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	0	LTLOAN	519671	LTLOAN	703873
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	6258	ASALES	7430	ASALES	4485
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	3003840	INCOME	3269200	INCOME	2242500
ACTUALINC.	2252880	ACTUALINC.	1634600	ACTUALINC.	1121250
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	932857	PROF	795825	PROF	612194
INFLOW	2252880	INFLOW	2154271	INFLOW	1825123
OUTFLOW	2697113	OUTFLOW	3104271	OUTFLOW	2775123
CASH	555767	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	0	FPSTN	0	FPSTN	2945

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **πέμπτο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	800000	LTLOAN	445708	LTLOAN	445708
STLOAL	548	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	4026	ASALES	3266	ASALES	3266
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	1932480	INCOME	1567680	INCOME	1567680
ACTUALINC.	966240	ACTUALINC.	1175760	ACTUALINC.	1175760
LOSS	0	LOSS	0	LOSS	0
PROF	234159	PROF	57277	PROF	57277
INFLOW	1766788	INFLOW	1621468	INFLOW	1621468
OUTFLOW	2716788	OUTFLOW	2571468	OUTFLOW	2571468
CASH	50000	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	2500	FPSTN	2500	FPSTN	2500

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	7430	RAWMAT	4745	RAWMAT	7430
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	7430	PROD	4745	PROD	7430
LTLOAN	509932	LTLOAN	325816	LTLOAN	800000
STLOAL	0	STLOAL	0	STLOAL	13777
ASALES	2724	ASALES	4745	ASALES	2267
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	1307520	INCOME	2087800	INCOME	1133500
ACTUALINC.	980640	ACTUALINC.	1043900	ACTUALINC.	566750
LOSS	79694	LOSS	0	LOSS	180543
PROF	-51801	PROF	430919	PROF	-117353
INFLOW	1490572	INFLOW	1369716	INFLOW	1380527
OUTFLOW	2440572	OUTFLOW	2319716	OUTFLOW	2330527
CASH	50000	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	2500	FPSTN	0	FPSTN	2500

Λύσεις, δεδομένου ότι επαληθεύεται το **έκτο** μελλοντικό σενάριο πωλήσεων.

<i>Σενάριο 1^ο</i>		<i>Σενάριο 2^ο</i>		<i>Σενάριο 3^ο</i>	
scenario:	480	scenario:	467	scenario:	467
PRICE	480	PRICE	480	PRICE	480
ADV	200000	ADV	150000	ADV	150000
CREDIT	0.5	CREDIT	0.25	CREDIT	0.25
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	7430
R&D	100000	R&D	100000	R&D	100000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	7430
LTLOAN	800000	LTLOAN	602375	LTLOAN	602375
STLOAL	115802	STLOAL	0	STLOAL	0
ASALES	3020	ASALES	2745	ASALES	2745
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	5000
INCOME	1449600	INCOME	1317600	INCOME	1317600
ACTUALINC.	724800	ACTUALINC.	988200	ACTUALINC.	988200
LOSS	139822	LOSS	180709	LOSS	180709
PROF	-90884	PROF	-117461	PROF	-117461
INFLOW	1640602	INFLOW	1590575	INFLOW	1590575
OUTFLOW	2590602	OUTFLOW	2540575	OUTFLOW	2540575
CASH	50000	CASH	50000	CASH	50000
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	2500	FPSTN	2500	FPSTN	2500

<i>Σενάριο 4^ο</i>		<i>Σενάριο 5^ο</i>		<i>Σενάριο 6^ο</i>	
scenario:	451	scenario:	420	scenario:	484
PRICE	480	PRICE	440	PRICE	500
ADV	100000	ADV	200000	ADV	20000
CREDIT	0.25	CREDIT	0.5	CREDIT	0.5
RAWMAT	7430	RAWMAT	7430	RAWMAT	2219
R&D	50000	R&D	100000	R&D	20000
PROD	7430	PROD	7430	PROD	2219
LTLOAN	585871	LTLOAN	800000	LTLOAN	0
STLOAL	0	STLOAL	49686	STLOAL	0
ASALES	2513	ASALES	3608	SALES	2219
CAPACITY	5000	CAPACITY	5000	CAPACITY	2000
INCOME	1206240	INCOME	1587520	INCOME	1109500
ACTUALINC.	904680	ACTUALINC.	793760	ACTUALINC.	554750
LOSS	190066	LOSS	0	LOSS	0
PROF	-123543	PROF	5172	PROF	357502
INFLOW	1490551	INFLOW	1643446	INFLOW	554750
OUTFLOW	2440551	OUTFLOW	2593446	OUTFLOW	1078713
CASH	50000	CASH	50000	CASH	476037
RMSTN	0	RMSTN	0	RMSTN	0
FPSTN	2500	FPSTN	2500	FPSTN	0