



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και**  
**Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΥΚΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΩΝ - ΑΝΑΠΤΥΞΗ**  
**ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΚΑΙ**  
**ΑΒΕΒΑΙΕΣ ΑΓΟΡΕΣ**

**Μάμος Λορέντζος Ανδρέας**

**Επιβλέπων καθηγητής: Κοκόσης Αντώνης**

**ΑΘΗΝΑ, 2020**



## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα εργασία αποτελεί το διπλωματικό μου έργο στο πλαίσιο των σπουδών μου στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του καθηγητή Αντώνη Κοκόση, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες, τόσο για την ανάθεση όσο και για τη συνδρομή του κατά την εκπόνησή της. Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα την υποψήφιο διδάκτορα Μελίνα Ψύχα για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος, ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στην οικογένεια μου για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



## Περίληψη

Τα βιοδιωλιστήρια είναι μονάδες επεξεργασίας που μετατρέπουν τη βιομάζα σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας όπως βιοκαύσιμα, βιοχημικά και άλλα βιοϋλικά. Τα βιοδιωλιστήρια μικροφυκών είναι ένα νέος, καινοτόμος τρόπος παραγωγής χημικών προϊόντων. Τα προϊόντα που παράγουν πωλούνται σε χαμηλές ποσότητες στην παγκόσμια αγορά και έχουν υψηλή αξία. Τα βιοδιωλιστήρια μικροφυκών βρίσκονται ακόμα σε πιλοτικό επίπεδο. Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς την τελική σύνθεση που θα λάβουν.

Τα βιοδιωλιστήρια μικροφυκών περιέχουν πλήθος επιλογών για την σύνθεση τους όπως την επιλογή πρώτων υλών, διεργασιών και τελικών προϊόντων. Το πλήθος των επιλογών και η αβεβαιότητα που γεννάει η κάθε επιλογή οδηγεί σε ένα θολό τοπίο χωρίς προφανείς επιλογές. Στόχος της διπλωματικής είναι η ανάλυση του χαρτοφυλακίου προϊόντων και της μελέτης βιωσιμότητας ενός σύγχρονου βιοδιωλιστηρίου μικροφυκών.

Η ανάγκη αυτή θα επιτευχθεί μέσα από την εύρεση ενός συστημικού και γενικευμένου πλαισίου ανάλυσης. Έτσι θα γίνει μοντελοποίηση του προβλήματος σύνθεσης και θα αναπαρασταθεί σε μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Έπειτα θα εισαχθούν και θα επεκτείνουν το πρόβλημα παράγοντες αβεβαιότητας ως προς την αγορά και το προϊόν. Τέλος με την χρήση τεχνικών Μόντε Κάρλο και εμπορικού λογισμικού θα λυθεί το πρόβλημα εύρεσης του βέλτιστου χαρτοφυλακίου και της βέλτιστης κερδοφορίας του βιοδιωλιστηρίου υπό συγκεκριμένους κινδύνους που προέρχονται από την αβεβαιότητα των αγορών και των προϊόντων.



## **Περιεχόμενα**

<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b><i>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</i></b> .....	<b>11</b>
1.1. Εισαγωγή στην έννοια του βιοδιωλιστήριου .....	11
1.2. Κατηγορίες βιοδιωλιστηρίων .....	12
1.3. Χαρακτηρισμός βιοδιωλιστηρίων .....	13
1.4. Στόχος της διπλωματικής .....	20
<b><i>Κεφάλαιο 2: Βιοδιωλιστήρια μικροφυκών</i></b> .....	<b>24</b>
2.1. Καλλιέργειες φυκών .....	24
2.2. Χρήσιμα και εμπορεύσιμα προϊόντα.....	26
2.3. Κατηγορίες φυκών.....	28
2.4. Αντιστοίχιση πρώτης ύλης και προϊόντων.....	35
<b><i>Κεφάλαιο 3: Καλλιέργεια και επεξεργασία φυκών</i></b> .....	<b>40</b>
3.1. Καλλιέργεια μικροφύκη .....	40
3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη μικροφυκών.....	43
3.3. Διεργασίες σε ένα βιοδιωλιστήριο .....	48
3.3.1. Θερμοχημική διεργασία .....	49
3.3.2. Βιοχημική διεργασία.....	49
3.3.3. Μηχανικές διεργασίες.....	50
3.3.4. Χημικές διεργασίες.....	51
3.4. Σύνοψη προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο σχεδιασμός ενός βιοδιωλιστηρίου τρίτης γενιάς .....	51
<b><i>Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία</i></b> .....	<b>53</b>
4.1. Πρόβλημα σχεδιασμού – δεδομένα και ζητούμενα .....	53
4.2. Μοντέλο σύνθεσης και Υπερδομή.....	54
4.2.1. Μοντέλο σύνθεσης .....	54

4.2.2. Υπερδομή .....	55
4.3. Μαθηματικό μοντέλο .....	58
4.4. Εισαγωγή αβεβαιότητας και χρήση Monte Carlo .....	60
<b>Κεφάλαιο 5: Βελτιστοποίηση σε όρους αβεβαιότητας .....</b>	<b>61</b>
5.1. Επέκταση του προβλήματος σε όρους αβεβαιότητας .....	61
5.2. Αντιστοίχιση κατανομών αβεβαιότητας .....	62
5.3. Χρήση των κατανομών για επιλογή δεδομένων εισόδου με τεχνικές Monte Carlo .....	64
5.3.1. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κατανομή Levy .....	64
5.3.2. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κατανομή Cauchy .....	65
5.3.3. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κανονική λογαριθμική κατανομή .....	65
5.3.4. Παράμετροι τοποθεσίας και κλίμακας για τις κατανομές .....	66
5.4. Βελτιστοποίηση με χρήση του μαθηματικού προτύπου της ενότητας 4.3. και τις παραμέτρους του 5.3. ....	68
5.5. Καταγραφή λύσεων, επαναλήψεις και έλεγχος σύγκλισης .....	69
5.6. Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	73
<b>Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα .....</b>	<b>74</b>
6.1. Διαγράμματα φαρμακευτικών προϊόντων .....	74
6.2. Διαγράμματα τροφίμων .....	84
6.3. Διαγράμματα καλλυντικών .....	93
6.4. Διαγράμματα διαιτητικών προϊόντων .....	101
6.5. Διαγράμματα για το σενάριο 1 .....	109
6.6. Διαγράμματα για το σενάριο 2 .....	115
6.7. Διαγράμματα για το σενάριο 3 .....	121
6.8. Διαγράμματα για το σενάριο 4 .....	127
6.9. Διαγράμματα για το σενάριο 5 .....	133



<b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα .....</b>	<b>141</b>
7.1. Συμπεράσματα για τα έσοδα και την κερδοφορία φυκοδυλιστηρίου.....	141
7.2. Πάγιο και λειτουργικό κόστος βιοδυλιστηρίου μικροφυκών .....	144
7.3. Χαρτοφυλάκιο προϊόντων φυκοδυλιστηρίου.....	146
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>148</b>



# **Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή**

## **1.1. Εισαγωγή στην έννοια του βιοδιωλιστήριου**

Η παρούσα διπλωματική μελετά την βιωσιμότητα και το χαρτοφυλάκιο προϊόντων ενός βιοδιωλιστηρίου τρίτης γενιάς. Το βιοδιωλιστήριο είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων. Τέτοιοι είναι η επιλογή πρώτης ύλης, οι διεργασίες που θα χρησιμοποιηθούν και τα τελικά προϊόντα που θα παράγονται. Η επιλογή τελικών προϊόντων δεν είναι εύκολη υπόθεση εξαιτίας της αβεβαιότητας που παρουσιάζεται στην διακύμανση των μελλοντικών τιμών πώλησης και του ιδανικού χαρτοφυλακίου που τα συνδυάζει. Φυσικά όπως σε κάθε οικονομικό εγχείρημα ο αριθμός, το είδος και η τιμή πώλησης των παραγόμενων αγαθών επηρεάζουν καθοριστικά την επιτυχία του.

Η έννοια του βιοδιωλιστηρίου είναι παρόμοια με του παραδοσιακού διωλιστηρίου πετρελαίου, δηλαδή η βιομάζα (που αποτελεί την πρώτη ύλη) μετατρέπεται σε εμπορεύσιμα χημικά, καύσιμα και προϊόντα όπως το πετρέλαιο στα διωλιστήρια. Το βιοδιωλιστήριο χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών ικανών να διαχωρίζουν την βιομάζα από φύκη, ξύλο, χόρτα, καλαμπόκι και άλλες πρώτες ύλες στα δομικά τους στοιχεία (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, τριγλυκερίδια κλπ) τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε προϊόντα με υψηλή προστιθέμενη αξία όπως βιοκαύσιμα και χημικά (1). Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη με μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα, στο Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ του 2008 και του 2009 το βιοδιωλιστήριο αναγνωρίστηκε ως μια πιθανή λύση που μπορεί να βοηθήσει στην άμβλυνση της απειλής της αλλαγής του κλίματος και στην αντιμετώπιση της φαινομενικά απεριόριστης ζήτησης για την ενέργεια, τα καύσιμα, τα χημικά και τα διάφορα υλικά (2).

Η κύρια διαφορά μεταξύ του βιοδιωλιστηρίου και του διωλιστηρίου πετρελαίου είναι οι πρώτες ύλες (βιομάζα αντί αργό πετρέλαιο) και η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται και αναπτύσσονται μεταξύ τους για την απόκτηση πετροχημικών προϊόντων ή βιοπροϊόντων αντίστοιχα. Τα βιοδιωλιστήρια βιομηχανικής κλίμακας βρίσκονται σε πλήθος τομέων, και αυτό τους επιτρέπει να επικεντρωθούν σε επεξεργασία πολλαπλών προϊόντων. Η ενσωμάτωση των διάφορων αλυσίδων παραγωγής μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή προϊόντων

προστιθέμενης αξίας. Το σχέδιο είναι χρησιμοποιώντας μια πηγή πρώτης ύλης να μεγιστοποιηθεί το παραγόμενο προϊόν και το κέρδος. Έχουν διατυπωθεί ενστάσεις όσον αφορά την επάρκεια των πρώτων υλών που καλύπτουν τους στόχους και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (3).

## **1.2. Κατηγορίες βιοδυλιστηρίων**

Η βιολογική παραγωγή ενός βιοδυλιστηρίου δεν είναι παντελώς νέα έννοια. Οι βιομηχανίες ζάχαρης, αμύλου, χαρτοπολλτού και χαρτιού που χρησιμοποιούν παραδοσιακές διεργασίες μετατροπής ονομάζονται πρώτης φάσης βιοδυλιστήρια. Ωστόσο, πολλές περιβαλλοντικές και οικονομικές δυνάμεις όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η ασφάλεια της ενέργειας, της προσφοράς τροφίμων, το υψηλό ενεργειακό κόστος και οι γεωργικές πολιτικές έχουν επίσης κατευθύνει τις βιομηχανίες αυτές να αναπτύξουν περαιτέρω τις δραστηριότητές τους σε βιοτεχνολογίες που παράγουν ένα αειφόρο φάσμα χημικών ουσιών, προϊόντων και βιοενέργειας. Σε ορισμένες εκθέσεις, τα βιοδυλιστήρια πρώτης φάσης δεν πληρούν τις νέες εξελίξεις στον χώρο και δεν θεωρούνται βιοδυλιστήρια. Μέχρι σήμερα, τα βιοδυλιστήρια βρίσκονται στο εννοιολογικό ακόμα στάδιο για πολλές χώρες του κόσμου, ενώ εξακολουθούν να επινοούνται νέα προϊόντα και διαδικασίες παραγωγής. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος της δραστηριότητας και τους εμπλεκόμενους φορείς (2).

Όπως διατυπώθηκε τα βιοδυλιστήρια είναι εγκαταστάσεις επεξεργασίας που μετατρέπουν τη βιομάζα σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας όπως τα βιοκαύσιμα, τα βιοχημικά και άλλα βιοϋλικά. Στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφοροι τύποι βιοδυλιστηρίων. Οι περισσότεροι από αυτούς καθορίζονται κυρίως με βάση τις μεμονωμένες πρώτες ύλες, όπως το βιοδυλιστήριο με βάση το καλαμπόκι, το βιοδυλιστήριο με βάση το ξύλο, το βιοδυλιστήριο με βάση τα φοινικόδεντρα το βιοδυλιστήριο με βάση τα φύκη κ.λπ. Ορισμένοι ερευνητές και τεχνολόγοι καθορίζουν τα βιοδυλιστήρια ανάλογα την γενεά της πρώτης ύλης. Οπότε είναι βιοδυλιστήριο πρώτης γενεάς (ενεργειακές καλλιέργειες, βρώσιμοι ελαιούχοι σπόροι, καλλιέργειες τροφίμων, ζωικά λίπη κ.λπ.), βιοδυλιστήριο δεύτερης γενιάς (λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα) και βιοδυλιστήριο τρίτης ή τέταρτης γενιάς (φύκη και άλλοι μικροοργανισμοί) (4).

Το βιοδυλιστήριο που εξετάζεται σε αυτήν την διπλωματική είναι ένα βιοδυλιστήριο τρίτης γενιάς. Σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιεί το μικροφύκη *dunaliella*

salina. Δεν έχουν λειτουργήσει ακόμα βιοδιυλιστήρια τρίτης γενιάς. Βρίσκονται σε πιλοτικό επίπεδο, σε αντίθεση με τα διυλιστήρια πρώτης και δεύτερης γενιάς. Μια άλλη διαφορά του βιοδιυλιστηρίου που μελετάται είναι ότι δεν παράγει βιοκαύσιμα. Τα βιοδιυλιστήρια πρώτης και δεύτερης γενιάς είχαν ως βασικό χαρακτηριστικό την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα και πιο σαφές ότι τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, όπως η παραγωγή αιθανόλης από φυτικά σάκχαρα ή η παραγωγή βιοντίζελ από φυτικά λιπίδια, έχουν φτωχά ενεργειακά ισοζύγια και ως εκ τούτου πιθανότατα δεν θα μπορέσουν ποτέ να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό εφοδιασμό. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς τα οποία μετατρέπουν όλο το φυτό (π.χ. ζύμωση από βιομάζα σε υγρό ή βιοαέριο) προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες. Γενικά, η χρήση φυτικής βιομάζας για παραγωγή ενέργειας σήμερα είναι προβληματική λόγω του ανταγωνισμού με την παραγωγή τροφίμων ή ζωοτροφών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα από τα φυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ενέργειας (καλλιεργούμενα φυτά, ζαχαροκάλαμα, ζαχαρότευτλα, κλπ.) πρέπει να καλλιεργούνται σε αρόσιμες εκτάσεις (5).

Στη διεθνή αγορά, το βιοντίζελ (που παράγεται εμπορικά από φυτικά έλαια) και η βιοαιθανόλη (που προέρχονται από τη ζύμωση αμύλου ή ζάχαρης) κυριαρχούν ως οι πλέον τεχνικά εφικτές και εμπορευματοποιημένες εναλλακτικές πηγές ανανεώσιμων καυσίμων. Το βιοντίζελ μπορεί επίσης να προέρχεται από ζωικά λίπη τα οποία διαφορετικά θα απορρίπτονταν ως απόβλητα. Τα βιοκαύσιμα αρχίζουν να γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικά σε σχέση με το πετρέλαιο στα 65 δολάρια ανά βαρέλι πετρελαίου, ακόμη και χωρίς να λαμβάνουν υπόψη πρόσθετα περιβαλλοντικά οφέλη (6).

### **1.3. Χαρακτηρισμός βιοδιυλιστηρίων**

Έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι ταξινόμησης των βιοδιυλιστηρίων από διαφορετικούς οργανισμούς. Έχουν ξεχωρίσει δύο. Η πρώτη είναι σύμφωνα με την IEA Bioenergy Task 42. Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τα τέσσερα βασικά τους χαρακτηριστικά που είναι τα ενδιάμεσα προϊόντα, τα προϊόντα, οι πρώτες ύλες και οι διεργασίες μετατροπής. Η σειρά είναι ταξινομημένη από το πιο σημαντικό στο λιγότερο. Πιο αναλυτικά:

1) Ενδιάμεσα προϊόντα: Τα ενδιάμεσα προϊόντα είναι ο σύνδεσμος μεταξύ πρώτων υλών και τελικών προϊόντων. Η έννοια τους είναι παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται στην πετροχημική βιομηχανία. Το αργό πετρέλαιο διαχωρίζεται σε μεγάλο αριθμό ενδιάμεσων προϊόντων που επεξεργάζονται περαιτέρω σε πλήθος χημικών προϊόντων και καυσίμων. Τα ενδιάμεσα αναγνωρίζονται ως οι κύριοι πυλώνες αυτής της ταξινόμησης, δεδομένου ότι μπορούν να επιτευχθούν μέσω διαφορετικών διεργασιών μετατροπής που εφαρμόζονται σε διαφορετικές πρώτες ύλες. Η μετατροπή τους σε εμπορικά δηλαδή τελικά προϊόντα μπορεί να γίνει από τις διεργασίες που περιγράφονται αργότερα. Τα σημαντικότερα ενδιάμεσα προϊόντα είναι:

- α) Βιοαέριο (μίγμα κυρίως από  $\text{CH}_4$  με  $\text{CO}_2$ ) από την αναερόβια χώνευση.
- β) Syngas (μίγμα κυρίως  $\text{CO}$  και  $\text{H}_2$ ) από την αεριοποίηση.
- γ) Υδρογόνο από την αντίδραση μετατόπισης ύδατος-αερίου, την αναμόρφωση του ατμού, την ηλεκτρόλυση νερού και την ζύμωση.
- δ) Σάκχαρα C6 (π.χ. γλυκόζη και φρουκτόζη) από την υδρόλυση της σακχαρόζης, του αμύλου, της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης.
- ε) Σάκχαρα C5 (π.χ. ξυλόζη, αραβινόζη:  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ), από υδρόλυση ημικυτταρίνης και πλευρικές ροές από τροφές και ζωοτροφές.
- ζ) Λιγνίνη από την επεξεργασία της λιγνοκυτταρικής βιομάζας.
- η) Υγρό από πυρόλυση (ένα πολυσυστατικό μίγμα με πολλά διαφορετικά μεγέθη μορίων)
- θ) Έλαια (τριγλυκερίδια:  $\text{RCOO-CH}_2\text{CH}(\text{-OOCR}')\text{CH}_2\text{-OOCR}''$ ) από καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων, φυκών και υπολείμματα ελαίων.
- ι) Βιολογικός χυμός (από διαφορετικές χημικές ενώσεις), που είναι η υγρή φάση που εκχυλίζεται από τη συμπίεση υγρής βιομάζας (π.χ. χόρτο)
- κ) Ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του βιοδιωλιστηρίου ή να πωληθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

2) Προϊόντα: Τα βιοδιωλιστήρια μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τη μετατροπή της βιομάζας σε ενεργειακό ή μη ενεργειακό προϊόν. Στην εν λόγω ταξινόμηση πρέπει να προσδιοριστεί η αγορά στην οποία απευθύνονται. Αυτό επειδή το ίδιο προϊόν μπορεί να απευθυνθεί και στις δύο κατηγορίες, όπως συμβαίνει για παράδειγμα από την βιοαιθανόλη.:

- α) Ενεργειακά βιοδιωλιστήρια: Το κύριο προϊόν είναι ένας ενεργειακός φορέας όπως τα βιοκαύσιμα για το τομέα των μεταφορών, η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα.

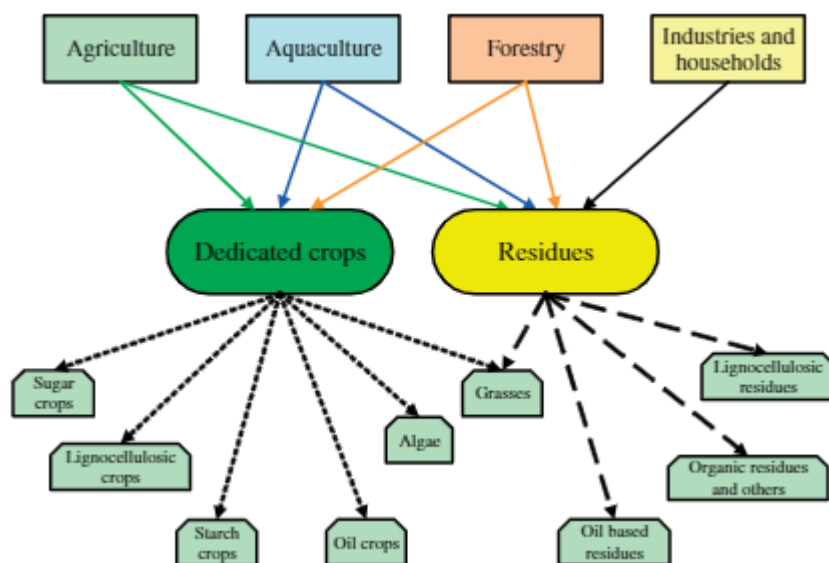
Δευτερευόντως μπορεί να παράγουν προϊόντα υψηλής αξίας για οικονομικούς και περιβαλλοντολογικούς λόγους.

β) Βιοδιωλιστήρια διαυλικών προϊόντων: Το κύριο προϊόν είναι ένα βιολογικής φύσης προϊόν όπως λιπαντικά και χημικά. Τα υπολείμματα μπορούν να μετατραπούν σε ενεργειακά προϊόντα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του βιοδιωλιστηρίου ή την πώληση τους.

Τα διαυλικά προϊόντα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε

- Λιπάσματα
- Βιοϋδρογόνου
- Γλυκερίνης (από τη διεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων)
- Χημικά και δομικά συστατικά (π.χ. εξειδικευμένα χημικά, αρωματικά συστατικά, αμινοξέα, ξυλιτόλη, πολυόλες, φαινόλες, φουρφουράλη κλπ)
- Πολυμερή και ρητίνες που παράγονται με βιοχημική μετατροπή της βιομάζας μέσω μονομερών ενδιάμεσων (π.χ., PHA, ρητίνες, PLA)
- Τρόφιμα
- Ζωοτροφές
- Βιοϋλικά (πολυσακχαρίτες, ίνες, πολτό και χαρτί, πάνελ)

3) Πρώτη ύλη: Η πρώτη ύλη είναι η ανανεώσιμη ύλη (βιομάζα) η οποία μετατρέπεται σε εμπορεύσιμα προϊόντα από τα βιοδιωλιστήρια. Η πρώτη ύλη βιομάζας μπορεί να υποδιαιρεθεί σε πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια. Σήμερα, οι πρώτες ύλες που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές άνθρακα παρέχονται συνήθως από τέσσερις διαφορετικούς τομείς: την γεωργία (από αποκλειστικές καλλιέργειες και υπολείμματα καλλιέργειών), την δασοκομία (ξύλο και υπολείμματα υλοτομίας), την βιομηχανία (υπολείμματα διεργασιών και απόβλητα) μαζί με τις οικιακές δραστηριότητες (οργανικά υπολείμματα) και τις υδατοκαλλιέργειες (φύκη). Μια άλλη διάκριση γίνεται μεταξύ των πρώτων υλών που προέρχονται από καλλιέργειες που παράγονται σε γεωργικές ή δασικές εκτάσεις ή σε υδάτινα συστήματα και εκείνες που προέρχονται από υπολείμματα, από γεωργικές, δασικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα βασικά συστατικά της πρώτης ύλης βιομάζας ποικίλλουν (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη, άμυλο, τριγλυκερίδια και πρωτεΐνες) και ποικίλουν τα τρία χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται: άνθρακας, οξυγόνο και υδρογόνο (συν μικρότερα ποσοστά S, N και τέφρα). Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά είναι η περιεκτικότητά τους σε νερό, η θερμαντική τους αξία και ο ειδικός όγκος τους. Οι διάφορες κατηγορίες πρώτων υλών μπορούν να φανούν στην εικόνα 1.



**Εικόνα 1 Κατηγορίες πρώτων υλών βιοδυλιστηρίων.**

4) Διεργασίες: Για να παραχθούν βιοκαύσιμα, βιοχημικά, βιοϋλικά, τρόφιμα ή και ζωοτροφές, η πρώτη ύλη μετατρέπεται σε τελικά προϊόντα χρησιμοποιώντας διαφορετικές διαδικασίες μετατροπής. Ανάλογα με τα προϊόντα τους (π.χ. καύσιμα, χημικά, υλικά, τρόφιμα, ζωοτροφές), τα βιοδυλιστήρια μπορούν να διαιρεθούν σε συστήματα όπου οι διεργασίες διαχωρισμού σε πολυμερή προϊόντα (τρόφιμα, ζωοτροφές, βιοϋλικά) αποτελούν τις κύριες διεργασίες και σε συστήματα για βιοκαύσιμα και βιοχημικά στα οποία οι μείζονες διεργασίες είναι ο αποπολυμερισμός και η χημική, θερμοχημική και η βιοχημική μετατροπή. Στόχος των διεργασιών στα βιοκαύσιμα είναι τόσο ο αποπολυμερισμός όσο και η αποξυγόνωση των συστατικών της βιομάζας. Η αποξυγόνωση είναι ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά για την παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς, καθώς η παρουσία οξυγόνου μπορεί να μειώσει την θερμική περιεκτικότητα των μορίων και συνήθως τους δίνει μεγαλύτερη πολικότητα, μειώνοντας έτσι τις δυνατότητες ανάμειξης με τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα. Αντίθετα, η παρουσία οξυγόνου σε χημικά προϊόντα (π.χ. πολυόλες και οργανικά οξέα) προσφέρει πολύτιμες φυσικές και χημικές ιδιότητες στο μίγμα. Στα βιοδυλιστήρια μπορούν να εφαρμοστούν ποικίλες τεχνολογικές διεργασίες για τη μετατροπή της πρώτης ύλης βιομάζας σε εμπορεύσιμα προϊόντα. Η ταξινόμηση αναγνωρίζει τέσσερις κύριες υποομάδες διαδικασιών

α) Μηχανική / φυσική διεργασία: Η χημική δομή των συστατικών της βιομάζας διατηρείται. Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη συμπίεση, το άλεσμα, το διαχωρισμό και την απόσταξη.



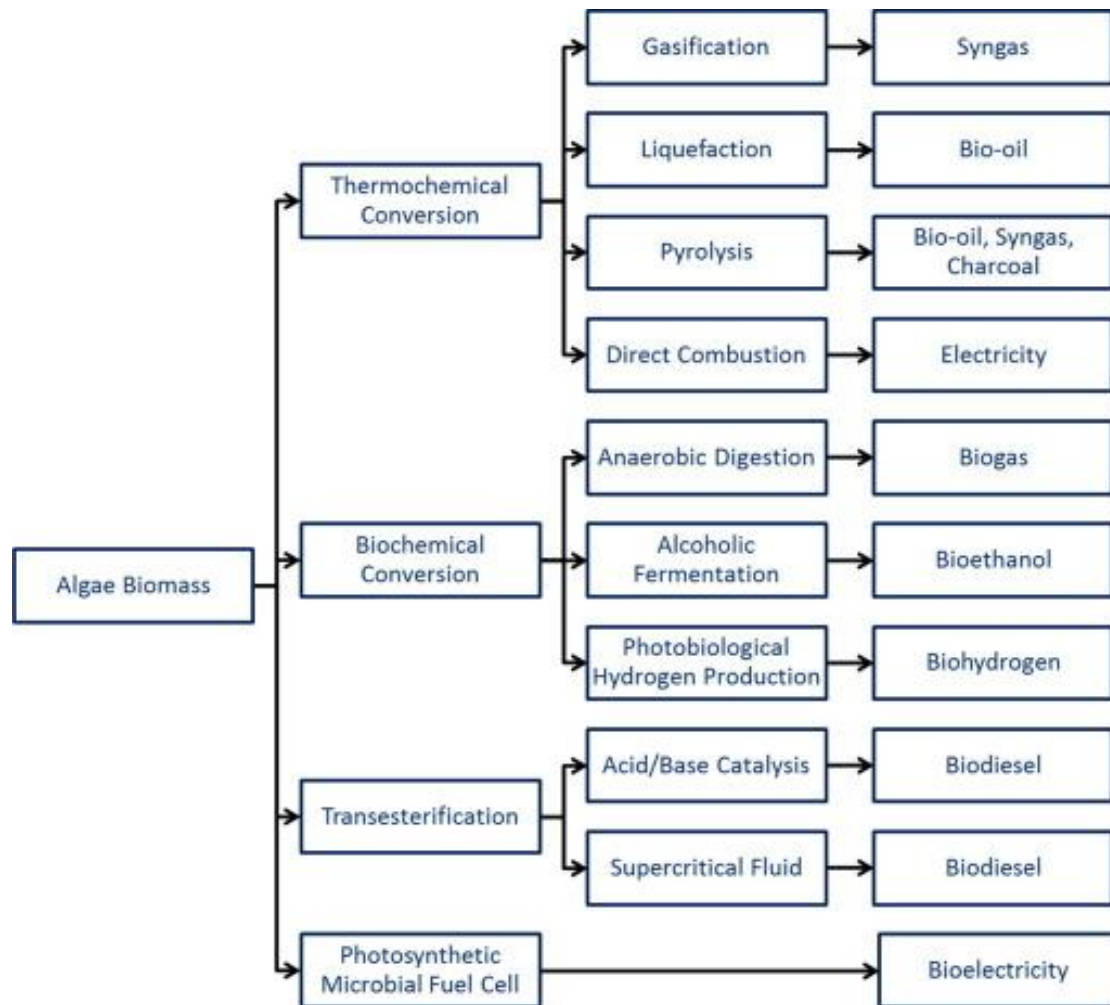
β) Βιοχημική διεργασία: Διεργασίες υπό χαμηλή θερμοκρασία και πίεση, χρησιμοποιώντας μικροοργανισμούς ή ένζυμα.

γ) Χημική διεργασία: Το υπόστρωμα υφίσταται αλλαγή με τη δράση μιας εξωτερικής χημικής ουσίας (π.χ. υδρόλυση, μετεστεροποίηση, υδρογόνωση, οξείδωση, πολτοποίηση)

δ) Θερμοχημική διεργασία: Ακραίες συνθήκες εφαρμόζονται στην πρώτη ύλη (υψηλή πίεση και θερμοκρασία, με ή χωρίς καταλύτη).

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά αναγνωρίζονται στο βιοδιυλιστήριο και χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση τους. Μερικά παραδείγματα ταξινομήσεων είναι:

- Βιοδιυλιστήριο με ενδιάμεσο C6 ζάχαρης για βιοαιθανόλη και ζωοτροφές από καλλιέργεια αμύλου.
- Βιοδιυλιστήριο με ενδιάμεσο syngas για FT-diesel και φαινόλες από άχυρο
- Βιοδιυλιστήριο με ενδιάμεσο C6 και C5 ζάχαρη και syngas για παραγωγή βιοαιθανόλης, FT-diesel και φουρφουράλης από υπολείμματα πριονιών.(1)



**Εικόνα 2 διεργασίες για την παραγωγή βιοκαυσίμων από βιομάζα φυκιών (3).**

Στην δεύτερη περίπτωση σύμφωνα με την ταξινόμηση Status Report Biorefinery 2007 τα βιοδιωλιστήρια μπορούν να ταξινομούνται με βάση την πρώτη ύλη, το είδος της τεχνολογίας, την εξέλιξη της τεχνολογίας (βιοδιωλιστήρια πρώτης και δεύτερης γενιάς) και τις ενδιάμεσες αλυσίδες (πλατφόρμα syngas, πλατφόρμα ζάχαρης κ.λπ.)(2). Τα βιοδιωλιστήρια έτσι μπορούν να ταξινομηθούν σε μία από τις επτά παρακάτω ομάδες:

- Συμβατικά βιοδιωλιστήρια (CBR)
- Πράσινα βιοδιωλιστήρια (GBR)
- Βιοδιωλιστήρια ολόκληρου του φυτικού υλικού (WCBR)
- Βιοδιωλιστήρια με λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες σαν είσοδο (LCFBR)
- Βιοδιωλιστήρια με δύο πλατφόρμες (TPCBR)
- Θερμοχημικά βιοδιωλιστήρια (TCBR)
- Θαλάσσια βιοδιωλιστήρια (MBR)

Στα συμβατικά βιοδιυλιστήρια (CBR) ανήκει μεγάλο πλήθος των σημερινών βιοδιυλιστηρίων και των προϊόντων που παράγουν. Σε αυτά ανήκουν η βιομηχανία ζάχαρης (τεύτλα, ζαχαροκάλαμο), η βιομηχανία αμύλου (σιτάρι, κασάβα, πατάτα), η βιομηχανία ζωοτροφών, η βιομηχανία τροφίμων, η βιομηχανία φυτικών ελαίων (σόγια, ελαιοκράμβη), η βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού (δασοκομία), η χημική βιομηχανία (πετροχημική) και η συμβατική βιομηχανία βιοκαυσίμων (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, βιοαέριο). Ωστόσο, οι βιομηχανίες αυτές επικεντρώνονται στην παραγωγή των κύριων προϊόντων τους και δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη σημαντικές προσπάθειες για την παραγωγή ευρέως φάσματος άλλων προϊόντων προστιθέμενης αξίας, όπως βιοχημικά ή βιοκαύσιμα. Επομένως, αυτός ο τύπος βιοδιυλιστηρίων δεν ανταποκρίνεται στα νέα δεδομένα της νέας έννοιας του όρου βιοδιυλιστήριο (2).

Όπως μπορεί να φανεί η μορφή ενός βιοδιυλιστηρίου δεν είναι καθορισμένη και μπορεί να χρησιμοποιήσει πλήθος διαφορετικών διεργασιών, αλυσίδων παραγωγής, τεχνολογιών και πρώτων υλών με τελικό στόχο την παραγωγή μεταξύ πολυάριθμων τελικών προϊόντων. Αυτές οι αναρίθμητες επιλογές δημιουργούν ένα πολύπλοκο πρόβλημα με μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις βέλτιστες επιλογές που θα οδηγήσουν στην μέγιστη κερδοφορία υπό συγκεκριμένο ρίσκο.

Concept	Type of feedstock	Predominant technology	Phase of development
Green Biorefineries (GBR)	wet biomass: green grasses and green crops, such as lucerne and clover	pretreatment, pressing, fractionation, separation, digestion	Pilot Plant (and R&D)
Whole Crop Biorefineries (WCBR)	whole crop (including straw) cereals such as rye, wheat, and maize	dry or wet milling, biochemical conversion	Pilot Plant (and Demo)
Ligno Cellulosic Feedstock Biorefineries (LCFBR)	lignocellulosic-rich biomass: e.g. straw, chaff, reed, miscanthus, wood	pretreatment, chemical & enzymatic hydrolysis, fermentation, separation	R&D/Pilot Plant (EC), Demo (US)
Two Platform Concept Biorefineries (TPCBR)	all types of biomass	combination of sugar platform (biochemical conversion) and syngas platform (thermochemical conversion)	Pilot Plant
Thermo Chemical Biorefineries (TCBR)	all types of biomass	thermochemical conversion: torrefaction, pyrolysis, gasification, HTU, product separation, catalytic synthesis	Pilot Plant (R&D and Demo)
Marine Biorefineries (MBR)	aquatic biomass: microalgae and macroalgae (seaweed)	cell disruption, product extraction and separation	R&D (and Pilot Plant)

Εικόνα 3 Συγκεντρωτικός πίνακας των χαρακτηριστικών των διάφορων ομάδων των βιοδιωλιστηρίων (2).

#### 1.4. Στόχος της διπλωματικής

Τα περισσότερα από τα προϊόντα που παράγουν τα διωλιστήρια που επεξεργάζονται φύκη είναι βιοπροϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας που μπορούν να εμφανίσουν υψηλή διακύμανση των τιμών πώλησης τους. Επομένως η αβεβαιότητα της αγοράς είναι ένα κρίσιμος παράγοντας που χρειάζεται να εξεταστεί. Σκοπός της διπλωματικής είναι η ανάλυση του χαρτοφυλακίου προϊόντων και της μελέτης βιωσιμότητας ενός σύγχρονου βιοδιωλιστηρίου τρίτης γενιάς. Αυτό θα επιτευχθεί μέσα από την εύρεση ενός συστημικού και γενικευμένου πλαισίου ανάλυσης.

Ένα βιοδιυλιστήριο είναι ένα πολυσύνθετο σύστημα το οποίο επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων. Για παράδειγμα μια σημαντική πρόκληση για τα βιοδιυλιστήρια είναι η διαχείριση των μεγάλων ποσοτήτων από ρεύματα αποβλήτων που παράγονται από τις διάφορες διεργασίες. Μία βιώσιμη λύση για την απομάκρυνση της υπολειμματικής οργανικής ύλης από αυτά από τις διεργασίες παραγωγής βιοαιθανόλης και βιοϋδρογόνου είναι η μετατροπή της σε βιοαέριο και η χρήση των υγρών αποβλήτων που απέμειναν ως λίπασμα έδαφος στην γεωργία (7). Άλλο σοβαρό εμπόδιο των βιοδιυλιστηρίων είναι ο διαχωρισμός των διαφορετικών κλασμάτων χωρίς να προκαλείται βλάβη στα άλλα κλάσματα. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί μέσω της χρήσης απλών, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, οικονομικά αποδοτικών και κλιμακούμενων διαδικασιών διαχωρισμού (3).

Συνοπτικά οι προκλήσεις που χρειάζεται να ξεπεραστούν για το υπό μελέτη βιοδιυλιστήριο κινούνται σε τρεις κατηγορίες. Πρώτον προκλήσεις σύνθεσης, όντας ένα μεγάλο συνδυαστικό πρόβλημα για την επιλογή των κατάλληλων πρώτων υλών, προϊόντων και τεχνολογιών. Δεύτερον προβλήματα ενσωμάτωσης των διεργασιών. Πιο αναλυτικά επιλογή κεντρικής ή διανεμημένης παραγωγής, καθορισμός βέλτιστης επεξεργασίας των υλών και προβλήματα ενεργειακή και περιβαλλοντικής απόδοσης. Τέλος πρόκληση αποτελεί η μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός διαγραμμάτων ροής μίας τέτοιας μονάδας παραγωγής. Χρειάζεται να αποκτηθούν δεδομένα και να γίνουν πειράματα ενώ ταυτόχρονα θα μελετούνται οι ευκαιρίες για καινοτόμες τεχνικές.

Από το σύνολο των προκλήσεων θα μελετηθεί ποια είναι τα προϊόντα που είναι ιδανικό να παράγονται και η βιωσιμότητα του εγχειρήματος κάτω από περιορισμούς που σχετίζονται με την βεβαιότητα και την ταυτότητα της επένδυσης. Μια τέτοια μελέτη είναι απαραίτητη δίνοντας μορφή και εικόνα στο πως μπορεί ένα βιοδιυλιστήριο να λειτουργήσει στην αγορά. Η επιλογή των κατάλληλων προϊόντων ως προς παραγωγή αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο ποιες τεχνολογίες και διεργασίες θα χρησιμοποιηθούν. Ακόμα καθορίζει τα έσοδα, την κερδοφορία, τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας του βιοδιυλιστηρίου. Στο μελετώμενο βιοδιυλιστήριο της διπλωματικής η πρώτη ύλη έχει καθοριστεί (μικροφύκη *Dunaliella salina*). Εξαιτίας αυτού τα πιθανά προϊόντα προς παραγωγή είναι πεπερασμένα και η επιλογή προϊόντων δεν επηρεάζει την επιλογή πρώτης ύλης. Η παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού προϊόντων αυξάνει την κερδοφορία αλλά η ενσωμάτωση και επεξεργασία των διάφορων μονοπατιών για την παραγωγή των εκάστοτε προϊόντων

αλλάζει δραματικά, καθιστώντας μετέπειτα αλλαγές στη δομή του βιοδιυλιστηρίου να αντιμετωπίζουν δυσκολίες, ενώ η επιλογή των προϊόντων δεν είναι προφανής.

Οι κατηγορίες προϊόντων που μπορεί να παράγει το προς μελέτη βιοδιυλιστήριο είναι καροτενοειδή, λιπίδια, πρωτεΐνες και η γλυκερόλη. Στα καροτενοειδή ανήκουν το *cis-β-καροτένιο*, το φυτοένιο, η ζεαξανθίνη, τα γενικευμένα καροτενοειδή, το *trans-β-καροτένιο*, η βιολαξανθίνη και η λουτεΐνη. Στις πρωτεΐνες τα ένζυμα γλυκερόλης και η καρβονική ανυδράση. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, οι βιταμίνες E, D και K, η χλωροφύλλη α και η χλωροφύλλη β ανήκουν στην ομάδα των λιπιδίων.

Τα καροτενοειδή και οι χλωροφύλλες έχουν υψηλή αξία αλλά μικρή διαθεσιμότητα στις σημερινές αγορές. Τα βιοδιυλιστήρια τρίτης γενιάς έχουν την δυνατότητα κατακόρυφης αύξησης της παραγωγής των προϊόντων αυτών. Έτσι είναι πιθανό η μελλοντική προσφορά να μπορεί να υπερκαλύπτει την σημερινή και μελλοντική ζήτηση. Ακόμα είναι πιθανό να ανακαλυφθούν νέοι τρόποι χρήσης των προϊόντων αυξάνοντας την ζήτηση. Με άλλα λόγια η αγορά αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητη. Έχει λοιπόν σημασία να μελετηθεί πως η μεταβολή της τιμής πώλησης επηρεάζει την επιλογή παραγωγής προϊόντων όπως και την βιωσιμότητα του εγχειρήματος. Όσον αφορά την βιωσιμότητα τα προς μελέτη οικονομικά μεγέθη είναι τα κέρδη, τα έσοδα, τα πάγια και λειτουργικά κόστη σε έναν ορίζοντα δέκα ετών. Λόγω της μεταβολής αξίας των προϊόντων το βιοδιυλιστήριο χρειάζεται να μπορεί να είναι ευέλικτο στην παραγωγή διαφορετικού συνόλου προϊόντων εφόσον αυτό καταστεί προτιμότερο, εξασφαλίζοντας του έτσι μεγαλύτερη οικονομική ασφάλεια.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα συζητηθεί τι είναι τα φύκη η πρώτη ύλη του βιοδιυλιστηρίου, πως κατατάσσονται, τι χαρακτηριστικά έχουν οι διάφορες ομάδες, και γιατί χρησιμοποιούνται από ένα βιοδιυλιστήριο. Η πρώτη ύλη είναι απολύτως απαραίτητη για την λειτουργία του βιοδιυλιστηρίου και καθορίζει την παραγωγή προϊόντων. Ειδικά δε προβλήματα πρόσβασης σε αυτήν (πχ. λόγω εποχικότητας), εξαιτίας της χρήσης μόνο ενός μικροφύκη της *dunaliella salina* αναστέλλουν την λειτουργία του. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στο τρόπο καλλιέργεια των φυκών, τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη τους και τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για να μετατραπούν σε προϊόντα. Οι διεργασίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας του βιοδιυλιστηρίου και την ποσότητα που παράγονται τα προϊόντα. Ο τρόπος καλλιέργειας και οι κατάλληλες συνθήκες που απαιτούνται για την παραγωγή πρώτης ύλης επηρεάζουν το κόστος παραγωγής της βιομάζας που απαιτείται για την παραγωγή προϊόντων, την

τοποθεσίας του βιοδιωλιστηρίου και αυξομειώνει τον αριθμό των υποψήφιων προϊόντων που μπορούν να επιλεγθούν για παραγωγή. Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την σύνθεση και βελτιστοποίηση του φυκοδιωλιστηρίου. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει το μοντέλο σύνθεσης, το μαθηματικό μοντέλο και την εισαγωγή όρων αβεβαιότητας στο πρόβλημα. Εξηγούνται αναλυτικά τα δεδομένα και τα ζητούμενα του προβλήματος για την καλύτερη κατανόηση του. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται βελτιστοποίηση του προβλήματος σε όρους αβεβαιότητας. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι όροι αβεβαιότητας που εισήλθαν στο μοντέλο, επεξηγείται η σημασία τους και παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εκτελέστηκαν οι τεχνικές Μόντε Κάρλο. Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπό μορφή διαγραμμάτων για την καλύτερη κατανόηση τους. Τέλος στο κεφάλαιο 7 αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά την εκτέλεση των τεχνικών Μόντε Κάρλο.

# Κεφάλαιο 2: Βιοδιωλιστήρια

## μικροφυκών

### 2.1. Καλλιέργειες φυκών

Τα φύκη είναι ένα μεγάλο και ποικίλο ομάδα από φωτοσυνθετικούς, ευκαρυωτικούς οργανισμούς που μοιάζουν με φυτά αλλά στερούνται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φυτών όπως φύλλα και ρίζες. Χρησιμοποιούν την χλωροφύλλη για να παγιδεύουν την ενέργεια από τις ακτίνες του ήλιου. Ο χαρακτηρισμός φύκος περιλαμβάνει ποικίλες συνομοταξίες, συμπεριλαμβανομένων των διάτομων (χρυσάφι φύκος), τα πράσινα φύκη, τα ευγληνοειδή, τα καστανά φύκη και τα κόκκινα φύκη, από μονοκύτταρους οργανισμούς μέχρι γιγαντιαία φύκος. Στα λατινικά ονομάζονται algae από την λατινική λέξη «φυτά της θάλασσας» (8).

Τα φύκη αποτελούνται από μονοκύτταρους έως πολυκύτταρους οργανισμούς, η μορφή τους μπορεί να είναι από απλή έως αρκετά πολύπλοκη. Μερικοί από τους μονοκύτταρους οργανισμούς μπορεί να είναι μικροί όσο ένα μικρόμετρο. Πολλά μονοκύτταρα είδη εμφανίζονται ως κοκκοειδή φύκη που λαμβάνουν τη μορφή μικρών σφαιρών. Τα πολυκύτταρα φύκη μπορεί να αποτελούνται από μια ή περισσότερες σειρές κυττάρων γραμμικά ενωμένων στη σειρά από άκρο σε άκρο που εμφανίζονται ως νήμα ή ακόμη και μερικά μεγαλύτερα μπορεί να έχουν σώματα με στοιχειώδη κατανομή εργασίας. Το πολυκύτταρο γιγαντιαίο φύκος (κέλπεις) φτάνει τα 60 μέτρα σε μήκος. Στα μακροφύκη, οι θαλλοί είναι κυρίως κοινοκυτταρικοί (ένα ογκώδες πολυπύρηνο κύτταρο) ή ψευδοπαρεγχυματώδεις (έχουν νηματοειδείς βάση) ή παρεγχυματώδεις (αποτελούνται από τρισδιάστατες σειρές κυττάρων) Τα ίδια τα φύκη έχουν πολλές μορφές συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εμφανίζονται σαν τα χερσαία φυτά με φύλλα και μίσχους, ακόμα μπορούν να μοιάζουν με βρύα, μανιτάρια, φύλλα μαρουλιών ή ακόμα και φοίνικες (8), (9).

Οι διάφοροι τύποι φυκών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικολογία. Τα φύκη αποτελούν τη βάση της υδρόβιας τροφικής αλυσίδας. Μικροσκοπικές μορφές που ζουν αιωρούμενες στην επιφάνεια του νερού - που ονομάζονται φυτοπλαγκτόν - αποτελούν τη βάση για τις περισσότερες θαλάσσιες αλυσίδες τροφίμων. Το



φωτοσυνθετικό έργο των φυκών πιστεύεται ότι παράγει πάνω από τα τρία τέταρτα του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα της γης, πολύ περισσότερο σε σχέση με εκείνο που παράγεται από τα χερσαία φυτά. Σε πολύ υψηλές πυκνότητες τα φύκη μπορεί να αποχρωματίζουν το νερό και να δηλητηριάσουν άλλες μορφές ζωής (8).

Τα φύκη βρίσκονται συνήθως σε χώρους με υγρασία ή υδάτινες ζώνες, μπορούν να βρίσκονται επίσης και σε χερσαίες περιοχές. Τα περισσότερα μονοκύτταρα και αποικιακά φύκη είναι υδρόβια και επιπλέουν κοντά στην επιφάνεια του νερού. Τα φύκη αναπτύσσονται κυρίως σε ρηχά θαλάσσια ύδατα, αλλά ορισμένα, όπως τα κόκκινα φύκη, μπορούν να αναπτυχθούν αρκετά βαθιά στον ωκεανό. Τα χερσαία φύκη αναπτύσσονται κυρίως σε υγρές, τροπικές περιοχές αποφεύγοντας το ξηρό κλίμα, επειδή τα φύκη στερούνται τους αναγκαίους μηχανισμούς όπως αγγειακό ιστό για να ζουν στην στεριά. Τα φύκη μπορούν να αντέξουν στην ξηρότητα σε συμβίωση με έναν μύκητα σαν τις λειχήνες (8).

Όλα τα φύκη έχουν φωτοσυνθετικές ικανότητες που θεωρείται ότι προέρχονται από τα κυανοβακτήρια και έτσι παράγουν οξυγόνο ως υποπροϊόν της φωτοσύνθεσης. Αν και όλα τα φύκη χρησιμοποιούν την χλωροφύλλη, μερικές φορές άλλες χρωστικές προσκρούουν στο πράσινο χρώμα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν φύκος με κόκκινο και καφέ χρώμα (8).

Σε εύκρατες ζώνες, η φωτοσύνθεση των φυκών μπορεί να είναι η μόνη πηγή οξυγόνου σε λίμνες ειδικά όταν καλύπτονται από πάγο. Αν ο πάγος παραμείνει λεπτός και διαυγής, η φωτοσύνθεση μπορεί να βοηθήσει να διατηρηθούν τα επίπεδα οξυγόνου αρκετά υψηλά ώστε να αποφευχθεί η θανάτωση των ψαριών αντισταθμίζοντας το χαμένο οξυγόνο μέσω της αναπνοής τους και της αποσύνθεσης. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται με το χιόνι ή τον παχύ πάγο, η φωτοσύνθεση των φυκών μπορεί να μειωθεί μέχρι να απειλώντας την επιβίωση των ψαριών (10).

Τα βιοδιωλιστήρια χρησιμοποιούν βιομάζα σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων. Τα μικροφύκη αποτελούν την πρώτη ύλη στα βιοδιωλιστήρια τρίτης γενιάς. Η χρησιμοποίησή τους ανοίγει νέες δυνατότητες και προοπτικές, δίνοντας την δυνατότητα για την παραγωγή νέων καινοτόμων προϊόντων υψηλής αξίας που μέχρι τώρα δεν ήταν δυνατή η παραγωγή τους σε μεγάλες ποσότητες. Παρόλα αυτά η μελλοντική διακύμανση των τιμών πώλησης των προϊόντων και η απότομη αύξηση της παραγωγής δημιουργούν ένα αβέβαιο περιβάλλον που δεν είναι σαφές ποιο είναι το ιδανικό χαρτοφυλάκιο προϊόντων.



**Εικόνα 4** Πράσινα φύκη στην αραβική θάλασσα. Η έντονη ανάπτυξη τους οφείλεται στην κλιματική αλλαγή (11).

## **2.2. Χρήσιμα και εμπορεύσιμα προϊόντα**

Τα μικροφύκη περιέχουν μεγάλη ποσότητα πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων που θα μπορούσαν να αποτελέσουν την πρώτη ύλη για διαφορετικά προϊόντα. Κατά την καλλιέργεια σε λίμνες ή κλειστά συστήματα χρησιμοποιούνται διάφορες διεργασίες ανάμιξης και συγκέντρωσης τους. Αυτές οι διεργασίες είναι απαιτητικές σε ενέργεια και η μέγιστη εξαγωγή της βιομάζας μικροφυκών με την ελάχιστη χρήση ενέργειας παραμένει η πρωταρχική προτεραιότητα. Τα εκχυλισμένα λιπίδια μικροφυκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δυνητική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ, ενώ οι υδατάνθρακες μικροφυκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή άνθρακα στις βιομηχανίες ζύμωσης για να αντικαταστήσουν τις συμβατικές πηγές υδατανθράκων όπως απλά σάκχαρα ή κατεργασμένη λιγνοκυτταρινική βιομάζα. Επιπλέον, τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας που βρίσκονται σε μικροφύκη έχουν σημαντικές ιδιότητες ως συμπληρώματα διατροφής για την υγεία, ενώ οι πρωτεΐνες και οι χρωστικές που απαντώνται σε μικροφύκη παρουσιάζουν επιθυμητές ιδιότητες για τη θεραπεία ορισμένων ασθενειών. Ο σημαντικός ρόλος των μικροφυκών στην παραγωγή βιοκαυσίμων και βιολογικών χημικών ουσιών τα καθιστά ελπιδοφόρα να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες πηγές (3).

Τόσο τα μακροφύκη όσο και τα μικροφύκη έχουν την ικανότητα να παράγουν μεγάλο πλήθος βιοενεργών συστατικών υψηλής αξίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή φαρμάκων, τροφίμων και φυσικών χρωστικών

ουσιών. Μερικά παραδείγματα είναι: αλγινικό οξύ, καραγενάνη, άγαρ, αγαρόζη, ακετυλικά οξέα, β-καροτένιο, βιταμίνες, ασταξανθίνη, λουτεΐνη και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Η οικονομική βιωσιμότητα της παραγωγής βιολογικών καυσίμων από φύκη μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά από μια στρατηγική συμπαραγωγής προϊόντων υψηλής αξίας. Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει διαδοχικά την καλλιέργεια φυκών με μια εγκατάσταση καλλιέργειας φυκών (μείωση του CO<sub>2</sub>, επεξεργασία λυμάτων), εξαγωγή των βιοενεργών προϊόντων από την βιομάζα βιολογικής καλλιέργειας φυκών, θερμική επεξεργασία (πυρόλυση, υγροποίηση ή αεριοποίηση), εξαγωγή χημικών υψηλής αξίας από την προκύπτουν υγρή, αέρια ή στερεά φάση και αναμόρφωση ή αναβάθμιση των βιοκαυσίμων για διαφορετικές εφαρμογές. Πολλά συναρπαστικά και σημαντικά βιοχημικά προϊόντα δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί από τα μικροφύκη (12).

Τα φύκη πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα ανώτερα φυτά λόγω των ταχύτερων ρυθμών ανάπτυξης και της δυνατότητας καλλιέργειας τους σε μη αρόσιμες εκτάσεις, σε λίμνες, ωκεανούς και κλειστά συστήματα. Αυτό έχει με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των εκτάσεων που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια τροφίμων και ζωοτροφών (5), (3). Ακόμα σημαντικό περιβαλλοντολογικό πλεονέκτημα της χρήσης μικροφυκών για την εξαγωγή προϊόντων υψηλής αξίας είναι ότι μπορούν να καλλιεργηθούν χρησιμοποιώντας μόνο νερό και ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub>, τα οποία είναι διαθέσιμα με το ελάχιστο κόστος. Μπορούν να καλλιεργηθούν σε υποβαθμισμένες εκτάσεις, ωστόσο, ένας χώρος καλλιέργειας πλούσιος σε θρεπτικά συστατικά και άλατα απαιτείται για την καλλιέργεια τους. Εκτός από αυτό, η βιομάζα μικροφυκών έχει επίσης υψηλή φωτοσυνθετική απόδοση, η οποία σε συνδυασμό με συστήματα παραγωγής βιοενέργειας, έχει τη δυνατότητα να είναι μια αειφόρος οδός για την απόκτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μέλλον. Επιπλέον, τα μικροφύκη είναι σε θέση να βιοσυσσωρεύουν το CO<sub>2</sub> από καυσαέρια που παράγονται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας και αυτό θα συμβάλει στην τεράστια μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (3).

Συνοπτικά εκτός από την παραγωγή βιοκαυσίμων, τα φύκη θα χρησιμεύσουν ως δυνητική ανανεώσιμη πηγή για τις ακόλουθες εμπορικές εφαρμογές:

- i. Περιβαλλοντικές εφαρμογές όπως επεξεργασία λυμάτων και μετριασμός του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.
- ii. Ανθρώπινη διατροφή.
- iii. Ζωοτροφές και τροφές για είδη που ζουν στο νερό.

- iv. Παραγωγή καλλυντικών.
- v. Μόρια υψηλής αξίας όπως τα λιπαρά οξέα.
- vi. Σύνθεση χρωστικών όπως β-καροτένιο, ασταξανθίνη, φυκοδιπολυπρωτεΐνες.
- vii. Σταθερά βιοχημικά ισότοπα.
- viii. Βιολογικά λιπάσματα
- ix. Σύνθεση για αντιμικροβιακά, αντιϊκά, αντιβακτηριδιακά και αντικαρκινικά φάρμακα.

Τα φύκη έχουν τρία βασικά χαρακτηριστικά που μπορούν να μετατραπούν σε τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα :

A) Είναι γενετικά ομάδα οργανισμών με μεγάλη ποικιλομορφία με ένα ευρύ φάσμα φυσιολογικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών. Έτσι παράγουν με φυσικό τρόπο πολλά διαφορετικά και ασυνήθιστα λίπη, σάκχαρα, βιοενεργές ενώσεις κ.λπ.

B) Μπορούν με αποδοτικό και φτηνό τρόπο να ενσωματώσουν τα σταθερά ισότοπα  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  και  $^2\text{H}$  στη βιομάζα τους και έτσι έπειτα στις διάφορες ενώσεις που παράγουν.

Γ) Αποτελούν μια μεγάλη, ανεξερεύνητη ομάδα οργανισμών και έτσι παρέχουν μια ουσιαστικά αναξιοποίητη πηγή προϊόντων (12).

Τα φύκη παρέχουν πλήθος επιλογών για την παραγωγή προϊόντων υψηλής αξίας που μπορούν να πωληθούν σε διαφορετικές αγορές χάρη τα σπάνια και μοναδικά χαρακτηριστικά τους. Οι αγορές αυτές έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και η διακύμανση των τιμών σε αυτές δεν αναμένεται να είναι ίδια. Μέχρι στιγμή δεν έχει λειτουργήσει ένα βιοδιωλιστήριο τρίτης γενιάς για την εξαγωγή χρησίμων συμπερασμάτων σε πραγματικές συνθήκες. Τέτοιες πληροφορίες θα ήταν χρήσιμες για την ανάλυση της κερδοφορίας του ή την εξέταση της αποδοτικότητας των διεργασιών που χρησιμοποιούνται. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε ένα ρευστό, αβέβαιο περιβάλλον που δεν υπάρχουν προκαθορισμένες ή εύκολα προβλέψιμες επιλογές.

### **2.3. Κατηγορίες φυκών**

Η γενική ταξινόμηση των φυκών μεταξύ τους σε ομάδες βασίζεται στους ίδιους κανόνες που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των φυτών, άλλα η περαιτέρω οργάνωση των ομάδων έχει αλλάξει από τη δεκαετία του εξήντα. Η πρόοδος

μορφολογική έρευνα με τη χρήση ηλεκτρονικών μικροσκοπίων έδειξε διαφορές στα χαρακτηριστικά, στη δομή και στη λειτουργία των φυκών όπως στην ύπαρξη ή μη μαστίγιων και στην διαφορετική διαδικασία κυτταρικής διαίρεσης. Οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των φυκών, των μυκήτων και των πρωτόζωων οδήγησαν τους επιστήμονες να προτείνουν σημαντικές ταξινομικές αλλαγές ανά τις δεκαετίες. Μοριακές μελέτες, ειδικά αυτές που συγκρίνουν την αλληλουχία των γονιδίων, υποστήριξαν μερικές από τις αλλαγές που έγιναν, ενώ άλλες πρότειναν νέες. Επιπλέον, η φαινομενική εξελικτική διασπορά κάποιων φυκών μεταξύ πρωτοζωικών και μυκητιακών ομάδων υποδηλώνει ότι μια φυσική ταξινόμηση των φυκών ως μία τάξη είναι ανέφικτη (13).

Τα φύκη λοιπόν δεν αποτελούν ένα συγκεκριμένο ταξινομικό ομάδα από οργανισμούς αλλά αποτελούν περισσότερο μία ετερογενή συλλογή από ομοταξίες και συνομοταξίες με εκπροσώπους σε διάφορα βασίλεια. Οι συνομοταξίες διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα σύνολο χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τις φωτοσυνθετικές ουσίες, τη κάλυψη του κυττάρου, προϊόντα που συγκρατεί όπως άμυλο και άλλα κομμάτια της κυτταρικής οργάνωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται μια από τις πιο ευρέως αποδεκτές κατηγοριοποίηση των φυκών (14).

α) Τα κυανοβακτήρια ή τα μπλε-πράσινα φύκη είναι προκαρυωτικοί οργανισμοί χωρίς οργανίδια δεσμευμένα με μεμβράνη. Άλλα χαρακτηριστικά αυτής της συνομοταξίας είναι τα μη τυποποιημένα θυλακοειδή, οι χρωστικές της φυκοκυτταροπρωτεΐνης, η κυανοφυσίνη σαν αποθηκευτικό μέσο και τα τοιχώματα πεπτιδογλυκάνης. Τα κυανοβακτήρια κατοικούν σε περιοχές με γλυκό νερού και με την ύπαρξη των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό μέρος της χλωρίδας. Μερικές φορές η υπανάπτυξη των κυανοβακτηριδίων σε μια περιοχή μπορεί να είναι τοξική για το ζωοπλαγκτόν και τα ψάρια, καθώς και τα ζώα που πίνουν νερό που περιέχει αυτούς τους οργανισμούς. Τα κυανοβακτήρια στη ξηρά απαντώνται ακόμα και σε ακραία περιβάλλοντα, όπως θερμές πηγές, αλμυρές λίμνες και ενδολιθικά σε πέτρες και χώματα στην έρημο (14). Οι μεγάλες ποσότητες οξυγόνου στην ατμόσφαιρα της Γης πρώτο δημιουργήθηκαν από αρχαία κυανοβακτήρια. Αλλάζοντας για πάντα την παγκόσμια οικολογία και την μορφή της ζωής στο πλανήτη, οδηγώντας ταυτόχρονα τους περισσότερους αναερόβιους οργανισμούς σε αφανισμό (15).

β) Τα κόκκινα φύκη ή ροδόφυτα αντιπροσωπεύουν μια συνομοταξία που χαρακτηρίζεται από χλωροπλάστες που δεν έχουν εξωτερικό ενδοπλασματικό δίκτυο,

τα θυλακοειδή τους είναι μη σταθμισμένα, έχουν χρωστικές της φυκοδιπολιπίνης, αποθηκεύουν την ενέργεια σε άμυλο και δεν έχουν μαστίγια. Τα περισσότερα είδη βρίσκονται στην θάλασσα, ενώ σε περιοχές με γλυκό νερό βρίσκονται λιγότερα από 3% από τα 6500 είδη που ανήκουν σε αυτά. Τα κόκκινα φύκη των γλυκών υδάτων περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό σε ρέματα και ποτάμια, αλλά μπορούν να εμφανιστούν και σε άλλα μέρη της ενδοχώρας, όπως είναι οι λίμνες, οι θερμές πηγές, σε χώματα και σπηλιές. Ενώ η παρουσία πολλών ειδών είναι ένδειξη καλής ποιότητας των υδάτων, ένας μικρός αριθμός τους μπορεί να αναπτυχθεί σε σχετικά μολυσμένα νερά που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως απορρίψεις των περιεχομένων ενός ενυδρείου (14).

Οι χλωροπλάστες τους αναπτύχθηκαν με ενδοσυμβιωση μεταξύ αρχαίων φωτοσυνθετικών κυανοβακτηρίων και ένα ετερότροφο ευκαριωτικό κύτταρο ξενιστή. Ο ξενιστής αιχμαλώτισε το κυανοβακτήριο και αυτό μετατράπηκε σε πλαστίδιο (16). Το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία των πράσινων, κόκκινων φυκών και των γλαυκόφυτων που είναι οι αρχαιότερες εξελικτικές καταγωγές των συνθετικών ευκαρυωτικών οργανισμών. Οι περισσότεροι από τους μισούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς που είναι γνωστοί έχουν πλαστίδια με καταγωγή από τα κόκκινα φύκη (17).

γ) Τα πράσινα φύκη αποτελούν μια ταξινομική ομάδα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: χλωροπλάστες χωρίς εξωτερικό ενδοπλασματικό δίκτυο, θυλακοειδή τυπικά στοιβαγμένα σε 2-6 στοιβες, χλωροφύλλη α και β ως φωτοσυνθετικές χρωστικές, άμυλο σαν αποθηκευτικό μέσο και κυτταρίνη στο τοίχωμα τους. Μερικά πράσινα φύκη (χαρόφυτα) έχουν καταγωγή από τα ανώτερα φυτά. Τα πράσινα φύκη βρίσκονται διάσπαρτα σε οικότοπους στην στεριά, αλλά μερικά είδη έχουν συγκεκριμένες οικολογικές απαιτήσεις για να αναπτυχθούν. Για παράδειγμα τα μαστιγωτά χλωρόφυτα τείνουν να βρίσκονται σε λιμνάζοντα ύδατα πλούσια σε θρεπτικά. Τα σφαιρικά μονοκύτταρα και οι αποικίες είναι συχνές στο πλαγκτόν λιμναζόντων υδάτων και ποταμών που μετακινούνται αργά όταν τα θρεπτικά συστατικά, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είναι σε υψηλή ποσότητα. Η πλειοψηφία των χλωρόφυτων είναι επικολλημένη σε σκληρές επιφάνειες σε τρεχούμενο ή λιμνάζων ύδωρ, αλλά κάποια επιπλέουν ελεύθερα ή κατοικούν στο χώμα ή σε άλλες περιοχές κάτω από την ατμόσφαιρα. Μερικά από αυτά τα είδη είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στην αποξήρανση. Τα νηματοειδή πράσινα φύκη βρίσκονται συνήθως σε λιμνάζοντα νερά σε χαντάκια των δρόμων και σε

παράκτιες ζώνες λιμνών, όπου μαζί με άλλα φύκη συνδέονται μεταξύ τους σε επιπλέοντες μάζες. Οι δεσμιδιάλες (desmids) βρίσκονται πιο συχνά σε λίμνες και ρυάκια με χαμηλή αγωγιμότητα και επαρκή θρεπτικά. Συχνά μπλέκονται με μακρόφυτα και νηματοειδή φύκη (14).

Η εξέλιξη των χερσαίων φυτών ή εμβρυόφυτων από μια αρχαία μορφή χλωροφυκών, οδήγησε σε ραγδαίες μεταβολές στο περιβάλλον της γης, αρχίζοντας την ανάπτυξη ολόκληρου του χερσαίου οικοσυστήματος. Ακόμα τα ευγλενοειδή τρώγοντας πράσινα φύκη απέκτησαν τους χλωροπλάστες τους αποκτώντας έτσι την δυνατότητα να φωτοσυνθέτουν (18).

δ) Τα ευγλενοειδή ή ευγλενόφυτα έχουν χλωροπλάστες περικυκλωμένους από 3 μεμβράνες, θυλακοειδή σε 3 στοίβες, χλωροφύλλη α και β σαν φωτοσυνθετικές χρωστικές, αποθηκεύουν την ενέργεια στο παράμυλο αντί του αμύλου και διαθέτουν πρωτεϊνική επικάλυψη. Θεωρείται ότι τα ευγλενόφυτα εξελίχθηκαν από ευκαρυωτικά πράσινα φύκη (19). Τα ευγλενοειδή είναι σε πληθώρα στο πλαγκτόν στάσιμου ύδατος πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη και μπορούν να συνδέονται με ιζήματα, στα άκρα ψηλών φυτών και σε πεταμένα φύλλα. Μερικά είδη μπορούν να ευδοκιμήσουν σε υψηλής οξύτητας περιβάλλοντα. Για παράδειγμα η *Euglena mutabilis*, είναι πρωτοπόρα είδη στο να ζουν σε πολύ όξινα ορυχεία όπου το νερό έχει  $pH < 3$  και περιέχει μέταλλα Al, Cd, Cu, Fe, Ni, Zn (14).

ε) Τα ραδιοφύκη, ευστιγματοφύκη και τα ξανθόφυτα περιλαμβάνουν μια «χαλαρή» ομάδα φυκών που μοιράζονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: χλωροπλάστες με τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες των τριών, χλωροφύλλη α και γ ως τυπικές φωτοσυνθετικές χρωστικές και χρυσολαμίνη ως το φωτοσυνθετικό αποθεματικό προϊόν για την φύλαξη της ενέργειας. Είναι τα πιο κοντινά σε συγγένεια με τα καφέ φύκη και επειδή δεν έχουν φυκοξανθίνη στους χλωροπλάστες τους έχουν ένα πιο ανοιχτό χρώμα (20). Τα χρυσοπράσινα φύκη εμφανίζουν μεγάλη ποικιλομορφία σε οικότοπους με γλυκό νερό. Τουλάχιστον 90 είδη έχουν καταγραφεί. Το βακτηρίδια του γένους *Vaucheria* μπορούν να σχηματίσουν πυκνές μάζες σε ρεύματα όταν οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου υπερβαίνουν ένα κατώτατο επίπεδο, εμφανίζονται όμως συχνά στα περισσότερα εδάφη. Αντίθετα τα ευστιγματόφυτα (eustigmatophytes) και ραφιδίοφυτα (raphidophytes) είναι σχετικά μικρές ομάδες που αποτελούνται από οκτώ και τρία γένη, αντίστοιχα. Τα περισσότερα σπάνια αναφέρονται, παρόλα αυτά το μαστιγωτό γκονιοστόμουμ (*gonyostomum*) συναντάται συχνά σε όξινες λίμνες. Τα μέλη της ομάδας αυτών των

φυκών συλλέγονται από μια μεγάλη ποικιλία οικοτόπων, με τους περισσότερους κυρίως σε βόρειες περιοχές. Είναι αμφοτέρα πλαγκτονικά και αναπτύσσονται σε μια ευρεία ποικιλία υποστρωμάτων (14).

ζ) Τα χρυσοφύκη ή χρυσομονάδες διακρίνονται ως συνομοταξία με χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες των τριών, η φουκοξανθίνη μαζί με την χλωροφύλλη α, γ και την χρυσολαμναρίνη είναι τα φωτοσυνθετικά αποθεματικά ενέργειας τους. Το κύτταρο τους έχει δύο εξειδικευμένα μαστίγια, το ένα ενεργό, με «φτερά», χρησιμοποιείται για την κίνηση ενώ το άλλο παθητικά δίνει την κατεύθυνση. Το δεύτερο μπορεί να είναι σε υποτυπώδη μορφή σε μερικά κύτταρα (21). Τα φύκη αυτά βρίσκονται σε στάσιμα σώματα ύδατος που έχουν χαμηλά ή μέτρια ποσότητα σε θρεπτικά συστατικά, χαμηλή αλκαλικότητα και ειδική αγωγιμότητα και ένα pH που είναι ελαφρώς όξινο με ουδέτερο. Η πλειοψηφία των γενών τους τείνει να είναι πλαγκτόν. Συγκεκριμένα, ορισμένα είδη του ευρέως διαδεδομένου γένους πλαγκτόν *Dinobryon* είναι μικτοτροφικά, συμπληρώνοντας τη φωτοαυτοτροπία με φαγοτροφία βακτηρίων. Μερικές βενθικές μορφές, όπως ο *Hydrurus*, σχηματίζουν βλαστοειδή μακροσκοπική θαλλία (14).

η) Τα απόφυτα χαρακτηρίζονται από χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες των τριών, φουκοξανθίνη, χλωροφύλλη α, γ και χρυσολαμναρίνη ως απόθεμα ενέργειας και ένα μοναδικό βοήθημα που σχετίζεται με το μαστίγιο τους, το απτόνημα. Το απτόνημα έδωσε το όνομα στην κατηγορία αυτών των φυκών. Βρίσκεται μεταξύ των μαστιγίων και λειτουργεί σαν μέσο αποφυγής των εμποδίων και πρόσληψης τροφής (22). Επί του παρόντος, έχουν αναφερθεί εννέα γένη σε γλυκά ύδατα ή άλλες περιοχές εσωτερικών υδάτων στη Βόρεια Αμερική. Το πιο συνηθισμένο γένος στο γλυκό νερό η χρυσοχρομουλίνα καταγράφεται αρκετά συχνά σε δείγματα φυτοπλαγκτόν από λίμνες και ρυάκια και εμφανίζεται περιστασιακά με έντονη ανθοφορία. Για παράδειγμα, η χρυσομουλίνα πάρβα συναντάται συχνά σε ολιγοτροφικές λίμνες στην περιοχή Precambrian Shield του Ontario και είναι σύνηθες μέλος του νανοπλαγκτόν στο Grasmere, ένα μεσοτροφικό σύστημα στην βορειοδυτική Αγγλία (14).

θ) Τα συνουροφύκη χαρακτηρίζονται από χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες τριών, φουκοξανθίνη, χλωροφύλλη α και γ, χρυσολαμναρίνη ως φωτοσυνθετικά αποθεματικά προϊόντα ενέργειας και πυριτιούχο τοίχωμα. Τρία γένη απαντώνται σε βορειοαμερικανικά οικοσυστήματα γλυκού νερού (ένα τέταρτο είναι γνωστό από την Αυστραλία), αλλά



τα δύο γένη *Mallomonas* και *Synura* είναι πλούσια σε είδη. Τα συνουροφύκη κατοικούν αποκλειστικά σε γλυκά νερά από λίμνες, ρυάκια και ποτάμια που ρέουν αργά. Οικότοποι με μεγάλη ανάπτυξη από αυτά τα φύκη είναι ελαφρώς όξινοι, με χαμηλή αγωγιμότητα, αλκαλικότητα και ποσότητα θρεπτικών στοιχείων και περιέχουν μέτριες ποσότητες χουμικών ουσιών. Η μορφή του τοιχώματος είναι σημαντική για την αναγνώριση των ειδών, αλλά η συνολική τους μορφή μπορεί να αλλάξει ως συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας (14). Επειδή η παρουσία πολλών ειδών συσχετίζεται με συγκεκριμένες συνθήκες στο περιβάλλον που ζουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξαιρετικοί βιολογικοί δείκτες και σε παλαιολιμνολογικές μελέτες (23).

η) Τα διάτομα διακρίνονται από χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στήλες των τριών, φουκοξανθίνη μαζί με χλωροφύλλη α και γ, χρυσολαμναρίνη ως τις φωτοδεσμευτικές ουσίες και πυριτιούχο εξωτερική κάλυψη. Τα διάτομα είναι μια πολύπλοκη και ποικιλόμορφη ομάδα από μορφολογική άποψη, με τις πιο κεντρικές μορφές συμμετρικές γύρω από ένα σημείο, και τις πιο πτερωτές μορφές να είναι συμμετρικές γύρω από μια γραμμή. Στα γλυκά νερά της Βόρειας Αμερικής έχουν καταγραφεί 25 κεντροειδή γένη και 105 γένη που τείνουν να είναι πτερωτά. Διάτομα βρίσκονται σε όλους τους οικοτόπους γλυκών υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των στάσιμων και ρεόντων υδάτων και των πλαγκτονικών και βενθικών ενδιαιτημάτων. Μπορούν συχνά να κυριαρχούν τόσο στη βιομάζα όσο και στη βιοποικιλότητα της μικροσκοπικής χλωρίδας σε πλήθος υδρόβιων οικοσυστημάτων (14). Είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τους ωκεανούς καθώς παράγουν το 45% της συνολικής παραγωγής οργανικής ύλης από αυτούς. Έχουν ακόμα μεγάλο ρόλο στο κύκλο παραγωγής πυριτίου σε αυτούς(24). Επειδή τα διάτομα κατοικούν σε ένα ευρύ φάσμα οικοτόπων (αλλά πολλά έχουν ειδικές απαιτήσεις σε αυτούς), έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιολογική αξιολόγηση του περιβάλλοντος γλυκών υδάτων και για να παρακολουθούν τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στις οικολογικές τους συνθήκες. Η επιτυχία τους να μπορούν να αναπτύσσονται και να παράγονται σε μεγάλες ποσότητες σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα οφείλεται στο πυριτιούχο εξωτερικό τους τοίχωμα. Αυτό επειδή χρειάζονται λιγότερη ενέργεια για να το συνθέσουν, δίνοντας τους έτσι την ικανότητα να εξοικονομούν σημαντική ενέργεια από αυτή που διαθέτει το κύτταρο (25). Μερικά είδη περιστασιακά γίνονται ενοχλητικοί οργανισμοί, όπως το πτερωτό διάτομο διδιμοσφένια γεμίνιατα (*didymosphenia*

*geminata*), το οποίο μπορεί να επηρεάσει τα ψάρια του γλυκού νερού, τα υδρόβια φυτά και τα έντομα, προκαλώντας διαταραχές στις βενθικές τροφικές αλυσίδες (14).

ι) Τα δινοφύκη χαρακτηρίζονται από χλωροπλάστες που έχουν τρεις περιβάλλουσες μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες των τριών, φωτοσυνθετικές χρωστικές τις περιδινίνη, χλωροφύλλη α και γ, άμυλο ως αποθηκευτικό μέσο ενέργειας, χρωμοσώματα που είναι προσκολλημένα στην πυρηνική μεμβράνη, κυτταρινικό εξωτερικό περίβλημα και συχνά ένα εγκάρσιο και οπίσθιο μαστίγιο. Υπάρχουν 37 αναγνωρισμένα γένη δινοφυκών σε βορειοαμερικανικούς οικοτόπους γλυκών υδάτων (14). Συνολικά υπολογίζεται ότι υπάρχουν 2294 είδη. Δεν αποτελούν συχνά κύρια συστατικά του φυτοπλαγκτόν σε λίμνες και ρυάκια, αλλά μερικές φορές σχηματίζουν πυκνές μάζες, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν υψηλά επίπεδα νιτρικών και φωσφορικών αλάτων. Μερικά είδη είναι ικανά να σχηματίσουν τοξικές ερυθρές περιοχές γλυκού νερού. Κάποια άλλα είδη έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν μπλε-πράσινο φως.

κ) Οι κρυπτομονάδες έχουν χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις περιβάλλουσες μεμβράνες στις οποίες εμφανίζεται ένα νουκλεομορφικό (*nucleomorph*) μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού ζεύγους μεμβρανών, θυλακοειδή σε «χαλαρά» ζεύγη, φυκοκυανίνη ή φυκοερυθρίνη μαζί με χλωροφύλλη α και γ σαν φωτοσυνθετικές χρωστικές, άμυλο ως φωτοσυνθετικό αποθεματικό, *periplast* στο εξωτερικό τοίχωμα, και δύο ελαφρώς άνισα μαστίγια. Οι κρυπτομονάδες είναι συνήθως μέρος του πλαγκτόν σε λίμνες και ρυάκια και εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Οι πληθυσμοί των κρυπτομονάδων μπορούν να προχωρούν σε κάθετη μετανάστευση σε απάντηση στην αλλαγή των συνθηκών στις οποίες ζουν όπως οι μεταβολές τις πίεσης και της θερμοκρασίας (14). Οι κρυπτομονάδες έχουν σπειροειδής ταινίες που κρατιούνται υπό πίεση. Όταν βρεθούν κάτω από κάποιο μηχανικό, χημικό ή φωτεινό στρες αφήνουν ελεύθερες τις ταινίες και ακλουθώντας μια πορεία ζιγκ-ζαγκ απομακρύνονται από την περιοχή του ερεθίσματος.

λ) Τα καστανά φύκη διακρίνονται από χλωροπλάστες που έχουν τέσσερις μεμβράνες, θυλακοειδή σε στοίβες των τριών, φυκοξανθίνη, χλωροφύλλη α και γ ως φωτοσυνθετικές χρωστικές, λαμιναρίνη ως απόθεμα ενέργειας και αλγινικό οξύ ως συστατικό του εξωτερικού τοιχώματος. Υπάρχουν έξι καταγεγραμμένα γένη καφέ φυκών του γλυκού νερού, τέσσερα από τα οποία έχουν συλλεχθεί σε ενδιαίτηματα γλυκού νερού στη Βόρεια Αμερική. Μεταξύ 1500-2000 ειδών καφέ φυκών είναι γνωστά παγκοσμίως. Τα καφέ φύκη είναι κατά κύριο λόγο θαλάσσια με λιγότερο από το 1% του είδους να ζει στο γλυκό νερό. Τα μη θαλάσσια είδη είναι βενθικά, είτε

σε λίμνες είτε σε ρέματα, και η διανομή τους είναι αρκετά διάσπαρτη. Ορισμένα είδη θεωρούνται πιθανά εισβολείς από υφάλμυρα ή θαλάσσια ενδιαιτήματα, όπως το *Pleurocladia lacustris*, αν και άλλα, όπως το *Heribaudiella*, φαίνεται να είναι αυστηρά μόνο σε γλυκά νερά. Τέλος έχουν σημασία για το περιβάλλον εξαιτίας της απορρόφησης και μετασχηματισμού του άνθρακα (26), (14).

Η κατανόηση και γνώση των φυκών είναι σημαντική για την βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του βιοδιωλιστηρίου. Όπως ένα άψυχο υλικό η χρησιμότητα του ως πρώτη ύλη εξαρτάται μεταξύ άλλων από την χημική του σύσταση, την προσβασιμότητα σε αυτό και το κόστος, έτσι η χρησιμότητα των φυκών επηρεάζεται από την βιολογία τους. Διαφορετικά φύκη μπορούν να δώσουν διαφορετικά προϊόντα, σε διαφορετική ποσότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές διεργασίες. Η βιολογία τους καθορίζει σε τι συνθήκες και ποιες περιοχές μπορούν να αναπτυχθούν, πόσο γρήγορα, σε πόση ποσότητα και με τι κόστος. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να καθορίσουν την περιοχή στην οποία θα κατασκευαστεί ένα βιοδιωλιστήριο, το είδος και την ποσότητα των προϊόντων που θα παράγει αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος. Η οικονομική βιωσιμότητας εξαρτάται από τις αγορές και τα προϊόντα που δύναται να παράγει το φυκοδιωλιστήριο και αποτελούν παράγοντες αβεβαιότητας.

## 2.4. Αντιστοίχιση πρώτης ύλης και προϊόντων

Η βιομάζα φυκών περιέχει τρία κύρια συστατικά: πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια. Από αυτά μπορούν τα συστατικά να εξαχθούν πλήθος προϊόντων, ορισμένα ιδιαίτερα υψηλής αξίας. Η χημική σύνθεση των διάφορων συστατικών για κάθε φύκος φαίνεται στον πίνακα I (27). Στον πίνακα οι τιμές είναι επί της εκατό σε ξηρό βάρος. Αυτές οι τιμές αποτελούν το θεωρητικό μέγιστο που θα μπορούσε να εξαχθεί από ένα φύκη σε μια διεργασία.

**Πίνακας I**

Φύκη	Πρωτεΐνη	Υδατάνθρακες	Λιπίδια
<b>Μακροφύκη</b>			
<i>Hypnea valentiae</i>	11.8–12.6	11.8–13.0	9.6–11.6

---

<i>Acanthophora spicifera</i>	12.0–13.2	11.6–13.2	10.0–12.0
<i>Laurencia papillosa</i>	11.8–12.9	12.0–13.3	8.9–10.8
<i>Ulva lactuca</i>	11.4–12.6	11.6–13.2	9.6–11.4
<i>Caulerpa racemosa</i>	11.8–12.5	16.0	9.0–10.5
<i>Ulva reticulate</i>	12.83	16.88	8.50
<i>Enteromorpha compressa</i>	7.26	24.75	11.45
<i>Chaetomorpha aerea</i>	10.13	31.50	8.50
<i>Chaetomorpha antennina</i>	10.13	27.00	11.45
<i>Chaetomorpha linoidea</i>	9.45	27.00	12.00
<i>Cladophora fascicularis</i>	15.53	49.50	15.70
<i>Microdictyon agardhianum</i>	20.93	27.00	9.40
<i>Boergesenia forbesii</i>	7.43	21.38	11.42
<i>Valoniopsis pachynema</i>	8.78	31.50	9.09
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	6.00	42.75	10.51
<i>Caulerpa cupressoides</i>	7.43	51.75	10.97
<i>Caulerpa peltata</i>	6.41	45.00	11.42
<i>Caulerpa laetevirens</i>	8.78	56.25	8.80
<i>Caulerpa racemosa</i>	8.78	33.75	10.63

<i>Caulerpa fergusonii</i>	7.76	23.63	7.15
<i>Caulerpa sertularioides</i>	9.11	49.50	6.99
<i>Halimeda macroloba</i>	5.40	32.63	9.89
<i>Codium adhaerens</i>	7.26	40.50	7.40
<i>Codium decorticatum</i>	6.08	50.63	9.00
<i>Codium tomentosum</i>	5.06	29.25	7.15
<b>Μικροφύκη</b>			
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50–56	10–17	12–14
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	–	1.9
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8–18	21–52	16–40
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella vulgaris</i>	51–58	12–17	14–22
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Spirogyra sp.</i>	6–20	33–64	11–21
<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4	8
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena gracilis</i>	39–61	14–18	14–20
<i>Prymnesium parvum</i>	28–45	25–33	22–39
<i>Tetraselmis maculata</i>	52	15	3
<i>Porphyridium cruentum</i>	28–39	40–57	9–14

<i>Spirulina platensis</i>	46–63	8–14	4–9
<i>Spirulina maxima</i>	60–71	13–16	6–7
<i>Synechococcus sp.</i>	63	15	11
<i>Anabaena cylindrica</i>	43–56	25–30	4–7

Κάθε φύκος μπορεί να δώσει διαφορετικά προϊόντα και ποσότητες αυτών. Μέσα από ένα τόσο μεγάλο πλήθος πιθανών προϊόντων και διαφορετικών ποσοτήτων παραγωγής τους δεν είναι προφανής ποια είναι η βέλτιστη επιλογή. Για παράδειγμα ένα χαρτοφυλάκιο προϊόντων που δίνει έμφαση περισσότερο στην ομάδα των λιπιδίων μπορεί να έχει μικρή κερδοφορία αλλά ταυτόχρονα μειωμένο ρίσκο. Αντίθετα ένα χαρτοφυλάκιο που επενδύει περισσότερο στους υδατάνθρακες (καροτενοειδή) πιθανώς να έχει μεγαλύτερη κερδοφορία μαζί με αυξημένο ρίσκο. Τα διαφορετικά προϊόντα και οι διαφορετικές αγορές αποτελούν παράγοντες αβεβαιότητας.

Στο πίνακα II βρίσκονται οι διάφορες συνομοταξίες των φυκών και τα καροτενοειδή που περιέχουν (27). Τα καροτενοειδή είναι προϊόντα υψηλής αξίας που παράγονται σε χαμηλή ποσότητα παγκοσμίως. Ένα μέρος των προϊόντων που παράγει το βιοδιυλιστήριο που μελετάται στην διπλωματική ανήκουν στην ομάδα των καροτενοειδών.

**Πίνακας II**

Ταξινομική ομάδα	Καροτενοειδή
Κόκκινα φύκη	β-Carotene, zeaxanthin
Πράσινα φύκη	β-Carotene, σπάνια lycopene, lutein
Ευγλενόφυτα	Phytoene, phytofluene, c-carotene, 8-zeacarotene, f-carotene
Ξανθόφυτα και Ραφιδοφύκη	β-Carotene, diadinoxanthin
Ευστιγματοφύκη	β-Carotene, diadinoxanthin zeaxanthin,

	violaxanthin, auroxanthin
Χρυσοφύκη	β-Carotene, fucoxanthin
Απτόφυτα	Hexanoyloxyfucoxanthin, fucoxanthin, zeaxanthin
Διάτομα	β-Carotenefucoxanthin
Δινοφύκη	β-Carotene, peridinin, neoperididnin dinoxanthin, neodinoxanthin
Κρυπτομονάδες	Alloxanthin
Καφέ φύκη	β-Carotene, fucoxanthin, violaxanthin
Κυανοβακτήρια	β-Carotene, phycobilins

Η επιλογή συγκεκριμένων καροτενοειδών για παραγωγή είναι μια περίπλοκη διαδικασία εξαιτίας του πλήθους των προϊόντων, της διαφορετικής διακύμανσης των τιμών πώλησης τους, του διαφορετικού κόστους που απαιτείται για την παραγωγή τους και τις διαφορετικές διεργασίες που θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν. Οι επιλογές δεν είναι προφανείς και δημιουργούν αβεβαιότητας. Αυτή η ασάφεια αυξάνεται καθότι η παραγωγή προϊόντων εξαρτάται από τον τρόπο καλλιέργειας και επεξεργασίας των φυκών.

# Κεφάλαιο 3: Καλλιέργεια και

## επεξεργασία φυκών

### 3.1. Καλλιέργεια μικροφύκη

Μια σειρά διάφορων ειδών από μικροφύκη παράγονται σε εκκολαπτήρια και χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους σε εμπορικούς σκοπούς. Μελέτες έχουν εκτιμήσει τους κύριους παράγοντες για την επιτυχία ενός συστήματος καλλιέργειας μικροφυκών όπως οι διαστάσεις του δοχείου / βιοαντιδραστήρα όπου καλλιεργούνται τα μικροφύκη, η έκθεση στο φως / ακτινοβολία και η συγκέντρωση των κυττάρων μέσα στον αντιδραστήρα (28). Παρακάτω περιγράφονται τα διάφορα συστήματα καλλιέργειας.

#### A) Ανοιχτό σύστημα λιμνών

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται από τη δεκαετία του 1950. Υπάρχουν δύο κύρια πλεονεκτήματα της καλλιέργειας μικροφυκών χρησιμοποιώντας το ανοιχτό σύστημα λιμνών. Πρώτον, ένα ανοιχτό σύστημα λιμνών είναι ευκολότερο να οικοδομηθεί και να λειτουργήσει. Δεύτερον, οι ανοικτές λίμνες είναι φθηνότερες από τους κλειστούς βιοαντιδραστήρες, επειδή οι κλειστοί βιοαντιδραστήρες απαιτούν σύστημα ψύξης(29). Ωστόσο, ένα μειονέκτημα τους είναι η μειωμένη παραγωγικότητα ορισμένων εμπορικά σημαντικών στελεχών όπως της *Arthrospira* sp., στην οποία η βέλτιστη ανάπτυξη περιορίζεται από τη θερμοκρασία (28). Τούτου λεχθέντος, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η απόβλητη θερμότητα και το CO<sub>2</sub> από βιομηχανικές πηγές για να αντισταθμιστεί αυτό (30).

#### B) Μέθοδος ανύψωσης αέρα

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στην εξωτερικού χώρου καλλιέργεια και παραγωγή μικροφυκών. Ο αέρας μετακινείται μέσα σε ένα σύστημα για να ρυθμίσει την κυκλοφορία του νερού όπου αναπτύσσονται τα μικροφύκη. Η καλλιέργεια αναπτύσσεται σε διαφανείς σωλήνες που βρίσκονται οριζόντια στο έδαφος και συνδέονται με ένα δίκτυο σωληνώσεων. Ο αέρας διέρχεται διαμέσου του σωλήνα με ροή ώστε να διαφεύγει από το άκρο που βρίσκεται μέσα στον αντιδραστήρα που



περιέχει την καλλιέργεια και δημιουργεί μια επίδραση που μοιάζει στην ανάδευση (29).

### Γ) Κλειστοί αντιδραστήρες

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της καλλιέργειας μικροφυκών μέσα σε ένα κλειστό σύστημα είναι ότι παρέχει έλεγχο του φυσικού, χημικού και βιολογικού περιβάλλοντος. Αυτό σημαίνει ότι οι παράγοντες που είναι δύσκολο να ελεγχθούν σε ανοικτά συστήματα λιμνών όπως η εξάτμιση, η θερμοκρασία και η προστασία από τη μόλυνση του περιβάλλοντος καθιστούν τους κλειστούς αντιδραστήρες να πλεονεκτούν έναντι των ανοιχτών συστημάτων. Οι φωτοβιοαντιδραστήρες είναι το κύριο παράδειγμα κλειστού συστήματος όπου μπορούν να ελεγχθούν οι αβιοτικοί παράγοντες. Αρκετά κλειστά συστήματα έχουν δοκιμαστεί μέχρι σήμερα για την καλλιέργεια μικροφυκών τα πιο σημαντικά είναι τα παρακάτω(28):

#### 1) Οριζόντιοι φωτοβιοαντιδραστήρες

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει σωλήνες που τοποθετούνται στο έδαφος για να σχηματίσουν ένα δίκτυο βρόχων. Η ανάμιξη καλλιέργειας αιωρήματος μικροφυκών γίνεται μέσω μιας αντλίας η οποία υψώνει την καλλιέργεια κατακόρυφα από το έδαφος σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα μέσα σε ένα φωτοβιοαντιδραστήρα. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι η παλμική ανάμειξη ανά διαστήματα παράγει καλύτερα αποτελέσματα από τη χρήση συνεχούς ανάμειξης. Οι φωτοβιοαντιδραστήρες έχουν επίσης συνδεθεί με καλύτερη παραγωγή σε σύγκριση με ανοικτά συστήματα λιμνών καθώς μπορούν να διατηρήσουν καλύτερες θερμοκρασίες. Ένα παράδειγμα είναι στην υψηλότερη παραγωγή σε οριζόντιους φωτοβιοαντιδραστήρες του *Arthrospira* sp. που χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα διατροφής. Αυτή η αυξημένη απόδοση αποδόθηκε στην υψηλότερη παραγωγικότητα λόγω καλύτερης θερμοκρασίας και της παρατεταμένης καλλιεργητικής περιόδου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (28).

#### 2) Κατακόρυφα συστήματα

Αυτοί οι αντιδραστήρες χρησιμοποιούν κατακόρυφα “μανίκια” από πολυαιθυλένιο κρεμασμένα από ένα σιδερένιο πλαίσιο. Γυάλινοι σωλήνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Τα μικροφύκη καλλιεργούνται επίσης σε κατακόρυφα κυβελιδικά πάνελ (VAP) που είναι ένας τύπος φωτοβιοαντιδραστήρα. Αυτός ο φωτοβιοαντιδραστήρας χαρακτηρίζεται από χαμηλή παραγωγικότητα. Ωστόσο, αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί τροποποιώντας την αναλογία επιφάνειας προς όγκο, όπου αυξημένη αναλογία μπορεί να μεγαλώσει την παραγωγικότητα. Μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η ανάμιξη και η αποξυγόνωση και

μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη διοχέτευση του αέρα συνεχώς με ένα μέσο ρυθμολογίας. Οι δύο κύριοι τύποι κατακόρυφων φωτοβιοαντιδραστήρων είναι οι Flow-through VAP και η στήλη Bubble VAP (28).

#### Z) Αντιδραστήρες επίπεδης πλάκας

Οι αντιδραστήρες επίπεδης πλάκας (FPR) κατασκευάζονται με στενά πάνελ που τοποθετούνται οριζόντια για να μεγιστοποιήσουν την εισροή ηλιακού φωτός στο σύστημα. Η ιδέα πίσω από το FPR είναι να αυξήσει την αναλογία εμβαδού επιφάνειας προς όγκο έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί πιο αποδοτικά η ηλιακή ακτινοβολία (29), (31). Αυτό το σύστημα καλλιέργειας μικροφυκών αρχικά θεωρήθηκε ότι ήταν ακριβό και ακατάλληλο για καλλιέργεια. Έτσι οι αντιδραστήρες FPR θεωρήθηκαν γενικά ακατάλληλοι για την εμπορική παραγωγή μικροφυκών. Ωστόσο, ένα πειραματικό σύστημα FPR την δεκαετία του '80 χρησιμοποίησε κυκλοφορία μέσα στην καλλιέργεια από μια μονάδα ανταλλαγής αερίων σε οριζόντια πάνελ. Αυτή η αλλαγή ξεπέρασε τα ζητήματα της κυκλοφορίας και παρέχει το πλεονέκτημα μιας ανοικτής μονάδας μεταφοράς αερίου που μειώνει τη συσσώρευση οξυγόνου(31). Παραδείγματα επιτυχούς χρήσης των FPR μπορεί να παρατηρηθεί στην παραγωγή του *Nannochloropsis* sp. που χρησιμοποιείται εξαιτίας των υψηλών επιπέδων ασταξανθίνης που διαθέτει (32).

#### E) Αντιδραστήρες τύπου ζυμωτήρα

Οι αντιδραστήρες τύπου ζυμωτήρα (FTR) είναι βιοαντιδραστήρες όπου διεξάγεται ζύμωση. Οι αντιδραστήρες FTR δεν αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα για την καλλιέργεια μικροφυκών και παρουσιάζουν μειονέκτημα στην αναλογία επιφάνειας προς όγκο και μειωμένη αποτελεσματικότητα στη χρήση του ηλιακού φωτός (31), (29). Χρησιμοποιούν συνδυασμό ηλιακού και τεχνητού φωτός κάτι που οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής. Ωστόσο οι διαθέσιμες πληροφορίες σε πραγματικές συνθήκες, αντί για τα συστήματα εργαστηριακής κλίμακας που αναπτύσσονται, είναι πολύ περιορισμένες. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι οι εξωγενείς παράγοντες, πχ. ο φωτισμός, μπορούν να ελεγχθούν και η παραγωγικότητα μπορεί να ενισχυθεί, έτσι ώστε ο αντιδραστήρας FTR να μπορέσει να αποτελέσει εναλλακτική λύση για προϊόντα για τη φαρμακευτική βιομηχανία (31).

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος για την παραγωγή μικροφύκη είναι σημαντική. Τα συστήματα έχουν διαφορετικά κόστη, πολυπλοκότητα, περιοχές στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν, έλεγχο της καλλιέργειας και δυνατότητα για αυξημένη παραγωγή πρώτης ύλης. Διαφορετικά φύκη μπορεί να αντιδρούν με

ανόμοιο τρόπο σε κάθε σύστημα. Με δεδομένο ότι η πρώτη ύλη είναι φύκη χρειάζεται το σύστημα που θα επιλεγεί να διαθέτει την κατάλληλη παραγωγικότητα για το είδος που έχει επιλεγεί με το ελάχιστο δυνατό κόστος.



**Εικόνα 5** Ανοιχτό σύστημα παραγωγής φυκών (33).

### **3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη μικροφυκών**

Παρακάτω περιγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και καλλιέργεια των μικροφυκών.

#### **A) Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην την ανάπτυξη των φυκών και, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ανάπτυξη τους, είναι απαραίτητο η θερμοκρασία να ελέγχεται και να ρυθμίζεται κατά την παραγωγή. Η θερμοκρασία επηρεάζει την συνολική φωτοσυνθετική δραστηριότητα των μικροφυκών που υποβάλλονται σε κυτταρική διαίρεση, επηρεάζοντας έτσι την παραγωγή βιομάζας. Η κυτταρική διαίρεση συμβαίνει λόγω της αύξησης των ενζυματικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τον κύκλο Calvin. Μερικές μελέτες έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο για τη σχέση ρυθμού ανάπτυξης με τη θερμοκρασία και το πιο σύνθητες είναι αυτό που χρησιμοποιεί την εξίσωση Arrhenius. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, για κάθε 10°C αύξηση της θερμοκρασίας, η ανάπτυξη διπλασιάζεται μέχρι να επιτευχθεί η βέλτιστη

θερμοκρασία, μετά από αυτό το σημείο η ανάπτυξη μειώνεται. Η μείωση της ανάπτυξης οφείλεται στην θερμική πίεση που υφίστανται τα φύκη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μετουσίωση των πρωτεϊνών και την αδρανοποίηση των ενζύμων που εμπλέκονται στη διαδικασία φωτοσύνθεσης. Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης σε σχέση με τη θερμοκρασία ( $\mu$ ) μπορεί να εκτιμηθεί από την εξίσωση Arrhenius:  $\mu = A \cdot \exp(-E_I/RT)$  όπου  $A$  είναι σταθερά (ημέρες),  $E_I$  είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της περιοριστικής αντίδρασης ανάπτυξης (J/mole),  $R$  η παγκόσμια σταθερά των αερίων και  $T$  η θερμοκρασία (Kelvin). Οι συνήθεις θερμοκρασίες ανάπτυξης των μικροφυκών είναι από 16 με 35 βαθμούς κελσίου. Η *Dunaliella salina* μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες από 0 έως 45 °C και έχει μέγιστη ανάπτυξη για 22 °C.

## B) Φως

Τα φύκη απορροφούν την φωτεινή ενέργεια με την παρουσία φωτός και την αποθηκεύουν με τη μορφή τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και φωσφορικού νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτιδίου. Αυτά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιομάζας κατά τη διάρκεια του σκοτεινού κύκλου. Κατά τη διάρκεια της φωτεινής φάσης, το νερό υδρολύεται για να σχηματίσει οξυγόνο. Κατά τη διάρκεια της σκοτεινής φάσης το διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από τα κυτταρικά συστατικά μέσω του κύκλου Calvin. Επίσης κατά την διάρκεια του σκοτεινού κύκλου τα μικροφύκη παράγουν υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια. Το φως επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροφυκών υπό οποιαδήποτε από τις τρεις διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, δηλαδή κατά τον περιορισμό του φωτός, κατά τον κορεσμό του φωτός και κατά την ελαφρά αναστολή. Όταν η κατάσταση του φωτός αποτελεί περιοριστικό παράγοντα η αύξηση στα μικροφύκη αυξάνεται με οποιαδήποτε αύξηση στην ένταση του φωτός. Κατά τον κορεσμό του φωτός, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα μειώνεται καθώς η απορρόφηση των φωτονίων υπερβαίνει την ποσότητα ανταλλαγής ηλεκτρονίων, αναστέλλοντας έτσι τη φωτοσύνθεση. Όταν η φωτεινή ένταση αυξάνεται περαιτέρω, εμφανίζεται μη αναστρέψιμη βλάβη στο φωτοσυνθετικό σύστημα και αυτή η διαδικασία ονομάζεται φωτοαναστολή. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η περίοδος πρόσληψης φωτός έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των μικροφυκών. Για παράδειγμα, μια μελέτη για τη διερεύνηση της επίδρασης της περιόδου στην ανάπτυξη του *Dunaliella salina* CCAP 19/30 αποκάλυψε ότι οι μακρύτερης διάρκειας περίοδοι οδήγησαν σε αυξημένη ανάπτυξη μικροφυκών με υψηλότερες κυτταρικές πυκνότητες. Τα μικροφύκη αναπτύσσονται καλά υπό

συνθήκες φωτός αλλά τείνουν να διαιρούνται κατά προτίμηση με συνθήκες που επικρατεί το σκότος με δυαδική ή πολλαπλή σχάση για την παραγωγή θυγατρικών κυττάρων. Αυτό φαίνεται να έχει σημαντική επίπτωση στις συνολικές παραγωγικές ικανότητες καλλιεργειών. Επομένως, η διάρκεια και η ένταση του φωτός επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη και τη φωτοσύνθεση των μικροφυκών. Μια ερευνητική μελέτη αποκάλυψε ότι τα μικροφύκη τείνουν να ανθίζουν κάτω από είτε μπλε ( $\lambda \approx 420-470$  nm) είτε κόκκινο φως ( $\lambda \approx 660$  nm). Παρατηρήθηκε επίσης ότι το κόκκινο έως το πολύ κόκκινο φως επιτάχυνε την ανάπτυξη των κυττάρων. Το κινητικό μοντέλο για τη φωτοσύνθεση των μικροφυκών σε σχέση με το φως δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$dx_1/dt = -\alpha I x_1 + Y x_2 + \delta x_3,$$

όπου  $I$  είναι ο φωτισμός της προσπίπτοντος ακτινοβολίας ( $\mu E/m^2 \cdot h$ ),  $x_1$ ,  $x_2$  και  $x_3$  είναι κλάσματα του φωτοσυνθετικού συστήματος στην ανοιχτή, κλειστή και ανασταλτική κατάσταση (χωρίς διαστάσεις) και τα  $\alpha$ ,  $Y$  και  $\delta$  είναι κινητικές σταθερές ( $\mu E/m^2 \cdot h$ ).

### Γ) pH

Το pH είναι μία από τις βασικές παραμέτρους που ελέγχει τον μεταβολισμό των κυττάρων και τον σχηματισμό βιομάζας στα μικροφύκη. Η ανάπτυξη μιας μεγάλης ομάδας διαφόρων ειδών από μικροφύκη είναι γνωστό ότι ευδοκιμούν σε ουδέτερο pH και όλα τα στελέχη μικροφυκών φαίνεται να έχουν περιορισμένο βέλτιστο εύρος pH. Τα φύκη απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Στο βέλτιστο pH το διττανθρακικό που υπάρχει στο μέσον μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα με την δράση του ενζύμου καρβονικού ανυδρίτη απελευθερώνοντας ιόντα υδροξυλίου που τείνουν να αυξάνουν το pH. Στα μικροφύκη παρατηρείται ότι είτε το θυλακοειδές είτε οι χλωροπλάστες εκτελούν τις ζωτικές λειτουργίες σε συγκεκριμένο εύρος pH. Το pH του μέσου είναι γνωστό ότι επηρεάζει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Πράγματι, τα ακραία χαμηλά ή υψηλά pH μειώνουν την ταχύτητα της φωτοσύνθεσης. Σε υψηλό pH, η τάση απορρόφησης των ιχνοστοιχείων και των θρεπτικών ουσιών ενδέχεται να μειωθεί. Παρομοίως, σε χαμηλό pH, η αναστολή του καρβονικού ανυδρίτη αναστέλλει τη φωτοσυνθετική διαδικασία και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μέσο ανάπτυξης να μολυνθεί από μικροοργανισμούς. Το μεσαίο pH, συσχετίζεται με τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή το pH αυξάνεται σταθερά καθώς καταναλώνεται διοξείδιο του άνθρακα. Το pH επηρεάζει επίσης τη

διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών όπως ο σίδηρος και τα οργανικά οξέα. Ως εκ τούτου, το pH θεωρείται σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που ρυθμίζεται από την ισορροπία των ανθρακικών αλάτων τόσο στους ωκεανούς όσο και στα χερσαία ύδατα. Το ιδανικό pH για τα μικροφύκη είναι από 6 έως 10 όπου κυριαρχεί η διττανθρακικό μορφή. Στους ωκεανούς το pH είναι  $8 \pm 0,5$  αλλά κυμαίνεται από μικρότερο του 2 έως 12 στα χερσαία ύδατα. Η *Dunaliella salina* έχει μέγιστη ανάπτυξη για pH 9,18.

#### Δ) Αλατότητα

Κάθε στέλεχος μικροφύκη παρουσιάζει διαφορές ως προς την ικανότητά του να προσαρμόζεται στην αλατότητα. Το stress από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού, επηρεάζει την ωρίμανση των κυττάρων και το σχηματισμό λιπιδίων. Παρατηρήθηκε ότι καθώς η αλατότητα αυξάνει, η αναλογία παραγωγής διαφορετικών τύπων λιπιδίων αυξάνεται αλλά έχει σαν αποτέλεσμα την εξασθένηση της κυτταρικής ανάπτυξης. Είναι σημαντικό τα μικροφύκη κατά την χρησιμοποίησή τους σε βιοδιυλιστήρια να παράγουν υψηλή ποσότητα βιομάζας και λιπιδίων και δίδεται ιδιαίτερη σημασία σε μικροφύκη που ευδοκίμουν σε αλατούχο περιβάλλον. Τα θαλάσσια μικροφύκη είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις διακυμάνσεις της αλατότητας σε σύγκριση με τα μικροφύκη γλυκών υδάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι χάριν της ομοιόστασης τα κύτταρα αρκετών ειδών από μικροφύκη σε δραματικές αλλαγές της αλατότητας μειώνουν την ανάπτυξη τους ενώ διατηρούν ισορροπημένη κυτταρική δομή. Υπάρχουν βέβαια εξαιρέσεις όπου η κυτταρική τους δομή αλλάζει. Δεν είναι γνωστό για ποιο λόγο οφείλεται αυτή η διαφορά στην αντίδραση απέναντι στην αλατότητα. Η *Dunaliella salina* είναι ένα θαλάσσιο μικροφύκη που έχει την ικανότητα να ανέχεται υψηλή αλατότητα. Η ιδανική ανάπτυξη του είναι για 87.66 και 116.88ppt αλατότητας

#### Ε) Διοξείδιο του άνθρακα

Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με βιολογικά συστήματα από μικροφύκη είναι περιβαλλοντικά ασφαλής και ένας χρήσιμος τρόπος επίτευξης τους στόχου για μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Τα μικροφύκη απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα με μεγαλύτερες επιδόσεις από εκείνες των χερσαίων φυτών. Η επιλογή των κατάλληλων ειδών από μικροφύκη είναι σημαντική για την λειτουργία βιολογικών συστημάτων απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα και η επιλογή εξαρτάται από τη στρατηγική που εμπλέκεται στη δέσμευση του. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των

μικροφυκών, σε μεγαλύτερη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα η ανάπτυξη είναι ταχύτερη. Η *Dunaliella salina* δεν έχει μεταβολή στην ανάπτυξη της για συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα από 230 έως 5.100 ppm.

#### Z) Θρεπτικά συστατικά

Η ανάπτυξη των μικροφυκών είναι ανάλογη με το ποσοστό πρόσληψης των πιο περιοριστικών θρεπτικών συστατικών και περιγράφεται από την εξίσωση Michaelis–Mentis ως εξής  $\mu = \mu_{\max} [S/(S+K)]$ . Η ανάπτυξη του μικροφύκη συμβολίζεται με  $\mu$ , η μέγιστη ανάπτυξή του με  $\mu_{\max}$ ,  $S$  είναι η συγκέντρωση του περιοριστικού θρεπτικού συστατικού και  $K$  η συγκέντρωση που οδηγεί στην ανάπτυξη που είναι μισή από τη μέγιστη. Το  $K$  ονομάζεται ημικορεσμένη σταθερά. Το άζωτο είναι το δομικό συστατικό για τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα, ενώ το φώσφορο σχηματίζει μέρη των φωσφολιπιδίων. Εάν αυτά τα μακροθρεπτικά συστατικά είναι περιορισμένα, τότε τείνουν να μεταβληθούν οι μεταβολικές οδοί. Όταν η αναλογία N/P υπερβαίνει το 16, τότε ο φωσφόρος θεωρήθηκε ότι είναι ο περιοριστικός παράγοντας και η περιεκτικότητα σε άζωτο πρέπει να ελέγχεται για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των μικροφυκών. Η απαίτηση για βέλιστα επίπεδα φωσφόρου είναι κρίσιμη. Για περιεκτικότητα φωσφόρου μικρότερη των 0.045 mg/L ή μεγαλύτερη των 1.65 mg/L, η ανάπτυξη των μικροφυκών είναι απαγορευτική. Η ανάπτυξη τους όταν η περιεκτικότητα σε φώσφορο ισούται με 0.02 mg/L κρίνεται ως η βέλτιστη.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου του Calvin, ο ανόργανος άνθρακας από το υγρό μέσο λαμβάνεται από το κύτταρο και μετατρέπεται σε 3-φωσφορική γλυκεραλδεΐδη. Η μετατόπιση του μεταβολισμού προς την παραγωγή αποθήκευσης ενέργειας ή λειτουργικών μορίων εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ του εσωτερικού άνθρακα και του αζώτου. Στο στάδιο της ανάπτυξης των μικροφυκών, ο εσωτερικός άνθρακας υπερβαίνει την αναλογία C:N λόγω του υψηλού φωτοσυνθετικού ρυθμού, συνθέτοντας έτσι το κύτταρο πρωτεΐνες. Ωστόσο, καθώς η ανάπτυξη εξελίσσεται, το άζωτο στο υγρό μέσο καταναλώνεται και υπάρχει μια μετατόπιση της παραγωγής από πρωτεΐνες σε λιπίδια. Τα ιχνοστοιχεία, όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το κοβάλτιο, ο ψευδάργυρος, το νικέλιο και ο χαλκός, είναι μερικά από τα σημαντικά ιχνοστοιχεία που απαιτούνται από τα μικροφύκη για τις μεταβολικές τους λειτουργίες. Εάν απουσιάζουν, η ανάπτυξη τους μπορεί να περιοριστεί.

#### E) Ανάδευση

Οι επιδράσεις του φωτός και της θερμοκρασίας στα μικροφύκη είναι δύο σημαντικοί παράμετροι ανάπτυξης που εξαρτώνται η μια από την άλλη και ταυτόχρονα ο έλεγχος και των δύο μπορεί να είναι δυσχερής και δαπανηρός. Ως πιθανή λύση, η ανάδευση είναι μία από τις ευκολότερες μεθόδους για την εξασφάλιση της ομοιόμορφης κατανομής φωτός και θερμοκρασίας σε όλα τα κύτταρα. Προβλήματα σκίασης αντιμετωπίζεται συνήθως με την ανάδευση, καθώς η σκίαση εμποδίζει τα μικροφύκη να απορροφούν το φως και η ανάδευση θεωρείται ως μια οικονομικά αποδοτική λύση. Η ανάδευση μπορεί να παρέχεται στα μικροφύκη αποτελεσματικά και με χαμηλό κόστος με χρήση αερίων. Η ανάδευση, η μεταφορά μάζας και η κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα είναι σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να περιορίζουν την ανάπτυξη των μικροφύκη. Η ανάδευση τείνει να βελτιώνεται όταν αυξάνεται ο ρυθμός ροής αερίου. Σαν αποτέλεσμα αυξάνεται η διαθεσιμότητα διοξειδίου του άνθρακα και η ανάπτυξη γίνεται υψηλότερη. Ανάλογα με τη συγκέντρωση βιομάζας, η κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα ελέγχεται είτε από τις βαθμίδες διοξειδίου του άνθρακα στην υγρή φάση είτε από την μεταφορά διοξειδίου του άνθρακα από την αέρια φάση (34), (35).

Οι παράγοντες που περιγράφηκαν καθορίζουν τις περιοχές του πλανήτη που είναι ιδανικές για την καλλιέργεια των μικροφυκών. Ακόμα καθορίζουν τον τρόπο που πρέπει να ρυθμιστεί μια καλλιέργεια για την βέλτιστη παραγωγή. Το κόστος και το ύψος παραγωγής ενός είδους εξαρτάται από τους παράγοντες αυτούς. Κάθε είδος έχει τις δικές του απαιτήσεις σε συνθήκες για την βέλτιστη παραγωγή του. Επίσης μπορεί να επηρεάσουν την ποσότητα προϊόντων που παράγει ένα κύτταρο μικροφύκου. Συνεπώς οι παράγοντες αυτοί επηρεάζοντας την πρώτη ύλη του βιοδιωλιστηρίου επηρεάζουν την κερδοφορία και το κόστος λειτουργίας του. Ακόμα επηρεάζουν το χαρτοφυλάκιο παραγωγής προϊόντων που θα επιλεγεί. Συνολικά λοιπόν είναι παράμετροι που αυξάνουν την πολυπλοκότητα για το βέλτιστο σχεδιασμό του βιοδιωλιστηρίου.

### **3.3. Διεργασίες σε ένα βιοδιωλιστήριο**

Όπως έχει διατυπωθεί στα βιοδιωλιστήρια μπορούν να εφαρμοστούν ποικίλες τεχνολογικές διεργασίες για τη μετατροπή της βιομάζας σε εμπορεύσιμα προϊόντα. Η ταξινόμηση αναγνωρίζει τέσσερις κύριες υποομάδες διαδικασιών. Αυτές



παρουσιάζονται παρακάτω. Κάθε ομάδα επηρεάζει το κόστος παραγωγής διαφορετικά και είναι κατάλληλη για την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων. Η επιλογή τους αλλάζει την ολοκλήρωση του βιοδιυλιστηρίου και ανοίγει διαφορετικές επιλογές για την παραγωγή ενός προϊόντος.

### **3.3.1. Θερμοχημική διεργασία**

Υπάρχουν δύο κύριες θερμοχημικές διεργασίες για τη μετατροπή της βιομάζας σε ενεργειακά και χημικά προϊόντα. Η πρώτη είναι η αεριοποίηση, η οποία διατηρεί την βιομάζας σε υψηλή θερμοκρασία ( $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) με χαμηλά επίπεδα οξυγόνου για την παραγωγή syngas, ενός μείγματος  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  και  $\text{CH}_4$ . Το Syngas μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως «στατικό» βιοκαύσιμο ή μπορεί να είναι χημικό ενδιάμεσο για την παραγωγή καυσίμων (καύσιμα FT, διμεθυλαιθέρας, αιθανόλη, ισοβουτένιο κοκ) ή χημικές ουσίες (αλκοόλες, οργανικά οξέα, αμμωνία, ). Η δεύτερη θερμοχημική μέθοδος για τη μετατροπή της βιομάζας είναι η πυρόλυση, η οποία χρησιμοποιεί ενδιάμεσες θερμοκρασίες ( $300\text{-}600^{\circ}\text{C}$ ) σε απουσία οξυγόνου για τη μετατροπή της πρώτης ύλης σε υγρό πυρολυτικό έλαιο (ή βιοέλαιο), στερεό άνθρακα και ελαφρά αέρια όμοια με το syngas. Οι αποδόσεις τους ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες της διεργασίας και σε ένα βιοδιυλιστήριο η επεξεργασία που μεγιστοποιεί την παραγωγή υγρού βιοελαίου είναι η πλέον επιθυμητή (πυρόλυση flash). Η εφαρμογή του βιοελαίου ως βιοκαυσίμου μεταφοράς είναι σήμερα προβληματική και η χρήση του ως πηγής χημικών ουσιών βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Μαζί με τον ξυλάνθρακα, είναι γενικά καλύτερο στη χρήση ως καύσιμο για σταθερή ηλεκτρική ενέργεια ή εργοστάσια θερμικής ενέργειας. Εκτός από την αεριοποίηση και την πυρόλυση, περιλαμβάνεται επίσης η άμεση καύση μεταξύ των θερμοχημικών διεργασιών. Πρόκειται για τη συνηθέστερη και παλαιότερη μορφή μετατροπής της βιομάζας που περιλαμβάνει την καύση της βιομάζας σε ένα πλούσιο σε οξυγόνο περιβάλλον κυρίως για την παραγωγή θερμότητας

### **3.3.2. Βιοχημική διεργασία**

Σε αντίθεση με τις θερμοχημικές διεργασίες, οι βιοχημικές διεργασίες διενεργούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και έχουν χαμηλότερες ταχύτητες αντίδρασης. Οι συνηθέστεροι τύποι βιοχημικών διεργασιών είναι η ζύμωση και η αναερόβια χώνευση. Η ζύμωση χρησιμοποιεί μικροοργανισμούς ή ένζυμα για να μετατρέψει ένα

ζυμώσιμο υπόστρωμα σε ανακτήσιμα προϊόντα (συνήθως αλκοόλες ή οργανικά οξέα). Η αιθανόλη σήμερα είναι το πλέον απαραίτητο προϊόν ζύμωσης, αλλά η παραγωγή πολλών άλλων χημικών ενώσεων (π.χ. υδρογόνου, μεθανόλης, ηλεκτρικού οξέος, μεταξύ άλλων) αποτελεί αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης. Οι εξόζες, κυρίως η γλυκόζη, είναι τα πιο συχνά υποστρώματα ζύμωσης, ενώ οι πεντόζες (σάκχαρα από ημικυτταρίνη), γλυκερόλη και άλλοι υδρογονάνθρακες απαιτούν την ανάπτυξη εξατομικευμένων οργανισμών ζύμωσης για να καταστεί δυνατή η μετατροπή τους σε αιθανόλη. Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει τη βακτηριακή αποικοδόμηση του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υλικού απουσία οξυγόνου σε μία περιοχή θερμοκρασιών από περίπου 30 έως 65 ° C. Το κύριο τελικό προϊόν αυτών των διεργασιών είναι το βιοαέριο (μείγμα αερίων από μεθάνιο, CO<sub>2</sub> και άλλες ακαθαρσίες), το οποίο μπορεί να αναβαθμιστεί με περιεκτικότητα σε μεθανόλη μεγαλύτερη του 97% και να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου.

### **3.3.3. Μηχανικές διεργασίες**

Οι μηχανικές διεργασίες δεν μεταβάλλουν την κατάσταση ή τη σύνθεση της βιομάζας, αλλά πραγματοποιούν μόνο μείωση μεγέθους ή διαχωρισμό των συστατικών της πρώτης ύλης. Σε μια αλυσίδα παραγωγής ενός βιοδιυλιστηρίου, συνήθως εφαρμόζονται στην αρχή, επειδή η ακόλουθη χρησιμοποίηση της βιομάζας απαιτεί μείωση του μεγέθους του υλικού μέσα σε συγκεκριμένα εύρη, ανάλογα με το είδος των πρώτων υλών και τις περαιτέρω διεργασίες μετατροπής. Η μείωση του μεγέθους της βιομάζας είναι μια μηχανική επεξεργασία που αναφέρεται σε διαδικασίες κοπής ή μετακίνησης (“commuting”) που μεταβάλλουν σημαντικά το μέγεθος, το σχήμα και τη πυκνότητα των σωματιδίων της βιομάζας. Οι διεργασίες διαχωρισμού περιλαμβάνουν τον διαχωρισμό του υποστρώματος στα συστατικά του, ενώ με μεθόδους εκχύλισης εκχυλίζονται και συγκεντρώνονται πολύτιμες ενώσεις από ένα ογκώδες και ανομοιογενές υπόστρωμα. Οι μέθοδοι λιγνοκυτταρινικής προεπεξεργασίας (π.χ. η διάσπαση της λιγνοκυτταρινικής βιομάζας σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη) εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή, ακόμη και αν κάποια ημικυτταρίνη υδρολύεται επίσης σε μεμονωμένα σάκχαρα.

### **3.3.4. Χημικές διεργασίες**

Οι χημικές διεργασίες είναι εκείνες οι διεργασίες που επιφέρουν μια αλλαγή στη χημική δομή του μορίου από αντίδραση με άλλες ουσίες. Οι πιο συνηθισμένες χημικές διεργασίες στη μετατροπή της βιομάζας είναι η υδρόλυση και η μετεστεροποίηση, αλλά αυτή η ομάδα περιλαμβάνει επίσης την ευρεία κατηγορία χημικών αντιδράσεων όπου συμβαίνει μια μεταβολή στον μοριακό τύπο. Η υδρόλυση χρησιμοποιεί οξέα, αλκάλια ή ένζυμα για να αποπολυμεριστούν πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες στα συστατικά τους σάκχαρα (π.χ., γλυκόζη από κυτταρίνη) ή χημικά παράγωγα (π.χ., λεβουλινικό οξύ από τη γλυκόζη). Η διεστεροποίηση είναι η πιο κοινή μέθοδος παραγωγής βιοντήζελ σήμερα και είναι μια χημική διαδικασία με την οποία τα φυτικά έλαια μπορούν να μετατραπούν σε μεθυλεστέρες ή αιθυλεστέρες λιπαρών οξέων, που ονομάζονται επίσης βιοντίζελ. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την συμπαραγωγή γλυκερίνης, μιας χημικής ένωσης με διάφορες εμπορικές χρήσεις. Άλλες σημαντικές χημικές αντιδράσεις στα βιοδιωλιστήρια είναι η σύνθεση Fisher-Tropsch, η μεθανίωση, η αναμόρφωση του ατμού, μεταξύ άλλων (36).

Το πλήθος των προς χρησιμοποίηση διεργασιών, η απόδοση τους, το κόστος λειτουργίας τους, η διαθέσιμη τεχνολογία, η ολοκλήρωση τους και η ικανότητα τους για παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων αυξάνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Κατά αυτόν τον τρόπο έχοντας πολλές επιλογές διεργασιών με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά δημιουργεί ασάφεια για την βέλτιστη επιλογή τους από ένα βιοδιωλιστήριο τρίτης γενιάς.

## **3.4. Σύνοψη προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο σχεδιασμός ενός βιοδιωλιστηρίου τρίτης γενιάς**

Στα κεφάλαια 2 και 3 παρουσιάστηκε τι είναι τα φύκη, γιατί χρησιμοποιούνται από τα βιοδιωλιστήρια τρίτης γενιάς, σε τι κατηγορίες χωρίζονται, τι προϊόντα μπορούν να προσφέρουν, πως καλλιεργούνται, από τι παράγοντες εξαρτάται η καλλιέργεια τους και τις διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων. Ακόμα έγινε αναφορά στις διαφορετικές αγορές που τα προϊόντα τους μπορούν να απορροφηθούν και στην διακύμανση των μελλοντικών τιμών των προϊόντων. Όπως μπορεί εύκολα να φανεί υπάρχει πλήθος διαφορετικών επιλογών για το σχεδιασμό

βιοδιωλιστηρίου που οδηγεί σε εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα. Δεν είναι ξεκάθαρο ποιες είναι οι βέλτιστες επιλογές για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής κερδοφορίας υπό συγκεκριμένο εύρος ρίσκου. Αυτό εντείνεται από το γεγονός ότι τα βιοδιωλιστήρια τρίτης γενιάς βρίσκονται ακόμα σε πιλοτικό επίπεδο.

Το εγχείρημα κατασκευής του βιοδιωλιστηρίου τρίτης γενιάς έρχεται αντιμέτωπο με πλήθος προκλήσεων. Αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

A) Προκλήσεις σύνθεσης του βιοδιωλιστηρίου. Η κατασκευή του βιοδιωλιστηρίου είναι ένα μεγάλο συνδυαστικό πρόβλημα, όπου η επιλογή προϊόντων έρχεται αντιμέτωπη με τις τεχνολογίες και την τροφοδοσία.

B) Προκλήσεις ολοκλήρωσης των διεργασιών του βιοδιωλιστηρίου. Με άλλα λόγια επιλογή κεντρικής ή διανεμημένης παραγωγής. Ακόμα πρόκληση αποτελεί η ενεργειακή ολοκλήρωση, οι περιβαλλοντικές επιδόσεις και η αποδοτικότητα χρήσης των ακατέργαστων υλικών.

Γ) Προκλήσεις μοντελοποιήσεις και σχεδιασμού του βιοδιωλιστηρίου. Είναι δύσκολη η συλλογή δεδομένων από πειράματα και η εύρεση ευκαιριών για καινοτόμες διεργασίες.

Οι προκλήσεις αυτές καθιστούν απαγορευτική την εξέλιξη του βιοδιωλιστηρίου προσθέτοντας προϊόντα βήμα προς βήμα. Αυτό επειδή τα βέλτιστα μονοπάτια για την παραγωγή διαφορετικού συνόλου προϊόντων είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Έτσι η πρόσθεση βήμα προς βήμα έρχεται με υψηλό οικονομικό κόστος και κακή ολοκλήρωση του βιοδιωλιστηρίου. Είναι λοιπόν σημαντικό το βιοδιωλιστήριο να συντεθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό αποτέλεσμα να προσφέρει την μέγιστη δυνατή κερδοφορία υπό τους περιορισμούς που έχουν επιλεγεί και να είναι ευέλικτο στις μελλοντικές διακυμάνσεις των αγορών.

# Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία

## 4.1. Πρόβλημα σχεδιασμού – δεδομένα και ζητούμενα

Το πρόβλημα που μελετήθηκε στην διπλωματική μπορεί να ορισθεί ως εξής: **με δεδομένα**

- το φύκος (πρώτη ύλη) και την αλυσίδα των προϊόντων που μπορούν να προκύψουν
- τις κατηγορίες των προϊόντων που διαμορφώνουν το ζητούμενο χαρτοφυλάκιο
- οικονομικά μεγέθη προϊόντων και πρώτης ύλης
- τις δυνητικές διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κάθε προϊόντος και ενδιάμεσου
- το κόστος και την απόδοση των δυνητικών διεργασιών
- τις συνθήκες αβεβαιότητας ορισμένες κατά προϊόν και αγορά

**Αναζητούμε μια γενικευμένη και συστηματική μεθοδολογία** για να προσδιοριστεί:

- το χαρτοφυλάκιο με την καλύτερη κερδοφορία κάτω από περιορισμούς που σχετίζονται με την βεβαιότητα και την ταυτότητα της επένδυσης
- εκτίμηση του κινδύνου της επένδυσης κάτω από τους περιορισμούς που σχετίζονται με την βεβαιότητα και την ταυτότητα της επένδυσης.
- να μελετηθούν η κερδοφορία, τα έσοδα και τα πάγια και λειτουργικά κόστη του φυκοδυλιστηρίου σε διαφορετικά περιβάλλοντα σε έναν ορίζοντα δέκα ετών

Η προτεινόμενη μεθοδολογία προβλέπει τρία διακριτά στάδια.

- (1) Την ανάπτυξη μιας συγκεντρωτικής αναπαράστασης των επιλογών σε μορφή υπερδομής.
- (2) Την ανάπτυξη της υπερδομής σε πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης.
- (3) Την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης σε όρους αβεβαιότητας.

Το πρώτο μεθοδολογικό στάδιο που αφορά στην ανάπτυξη των επιλογών σε υπερδομή εξηγείται στην ενότητα 4.2. Η διαμόρφωση της υπερδομής σε μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης περιγράφεται στην Ενότητα 4.3. Οι Ενότητες 4.2 και 4.3 στηρίζονται σε προηγούμενη έρευνα και αφορούν

ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Η ενότητα 4.4. αποτελεί επαναδιατύπωση του προβλήματος σε όρους αβεβαιότητας με την χρήση τεχνικών Monte Carlo και αναπτύσσεται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

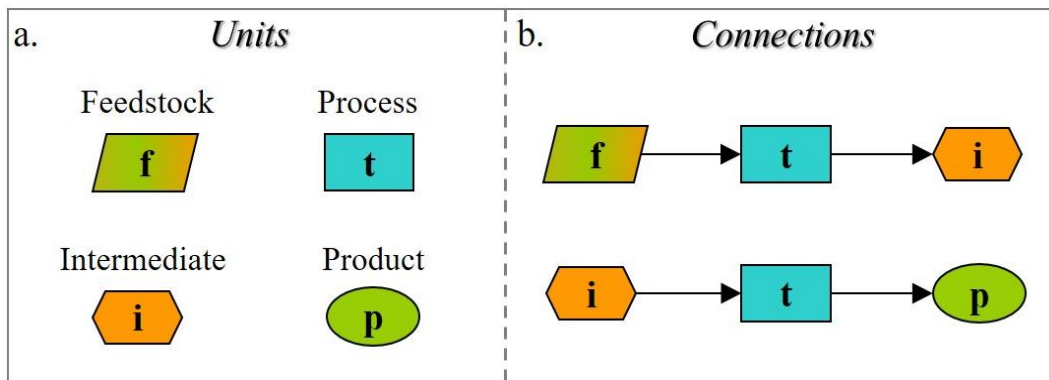
## 4.2. Μοντέλο σύνθεσης και Υπερδομή

Το πρόβλημα διαμορφώνεται ξεκινώντας με ένα σύνολο πρώτων υλών  $f$  που μπορούν να μετατραπούν είτε σε ενδιάμεσα  $i$  είτε σε τελικά προϊόντα  $p$  με τη χρήση διεργασιών  $t$ . Για τις πρώτες ύλες, τα ενδιάμεσα προϊόντα και τα τελικά προϊόντα οι τιμές είναι γνωστές, ενώ για τις τεχνολογίες οι αποδόσεις και το κόστος κεφαλαίου είναι γνωστά. Η επιλογή των διεργασιών και των χαρτοφυλακίων προϊόντων αντιμετωπίζονται ως βαθμοί ελευθερίας.

Η προσέγγιση ακολουθεί μια ταυτόχρονη διαλογή των μονοπατιών επεξεργασίας αντί να αξιολογεί χωριστά κάθε μονοπάτι. Η αντιπροσώπευση όλων των διαθέσιμων επιλογών επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη μιας υπερδομής που περιλαμβάνει πρώτες ύλες, διεργασίες, ενδιάμεσα μείγματα ή κλάσματα και προϊόντα. Αυτό είναι ένα κρίσιμο σημείο, ιδιαίτερα στην περίπτωση των φυκοδυλιστηρίων, δεδομένου ότι η δημιουργία των εφικτών συνδέσεων αποτελεί μεγάλη πρόκληση λόγω έλλειψης βιομηχανικών εφαρμογών. Επομένως, η ανταλλαγή πληροφοριών με τους επαγγελματίες έχει μεγάλη σημασία (37).

### 4.2.1. Μοντέλο σύνθεσης

Για την κατασκευή του μοντέλου σύνθεσης, οι μονάδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω συνδέσεων. Οι μονάδες περιλαμβάνουν μπλοκ που αντιπροσωπεύουν τις διεργασίες (εικόνα 6a.: ορθογώνιο παραλληλόγραμμο) και κόμβοι που μπορούν να είναι πρώτες ύλες (εικόνα 6a.: παραλληλόγραμμο), ενδιάμεσα (εικόνα 6a.: εξάγωνο) και προϊόντα (εικόνα 6a.: έκλειψη). Οι συνδέσεις μεταξύ των μονάδων αντικατοπτρίζουν τις σχέσεις εισόδου / εξόδου μεταξύ μπλοκ και κόμβων (εικόνα 6b.). Ένα μπλοκ μπορεί να έχει περισσότερες από μία εξόδους σύνδεσης, είτε με ενδιάμεσα είτε με τελικά προϊόντα, αλλά μόνο μία σύνδεση εισόδου, είτε με πρώτες ύλες είτε με ενδιάμεσα προϊόντα. Η "ενεργοποίηση" μιας σύνδεσης εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται το μοντέλο (37).

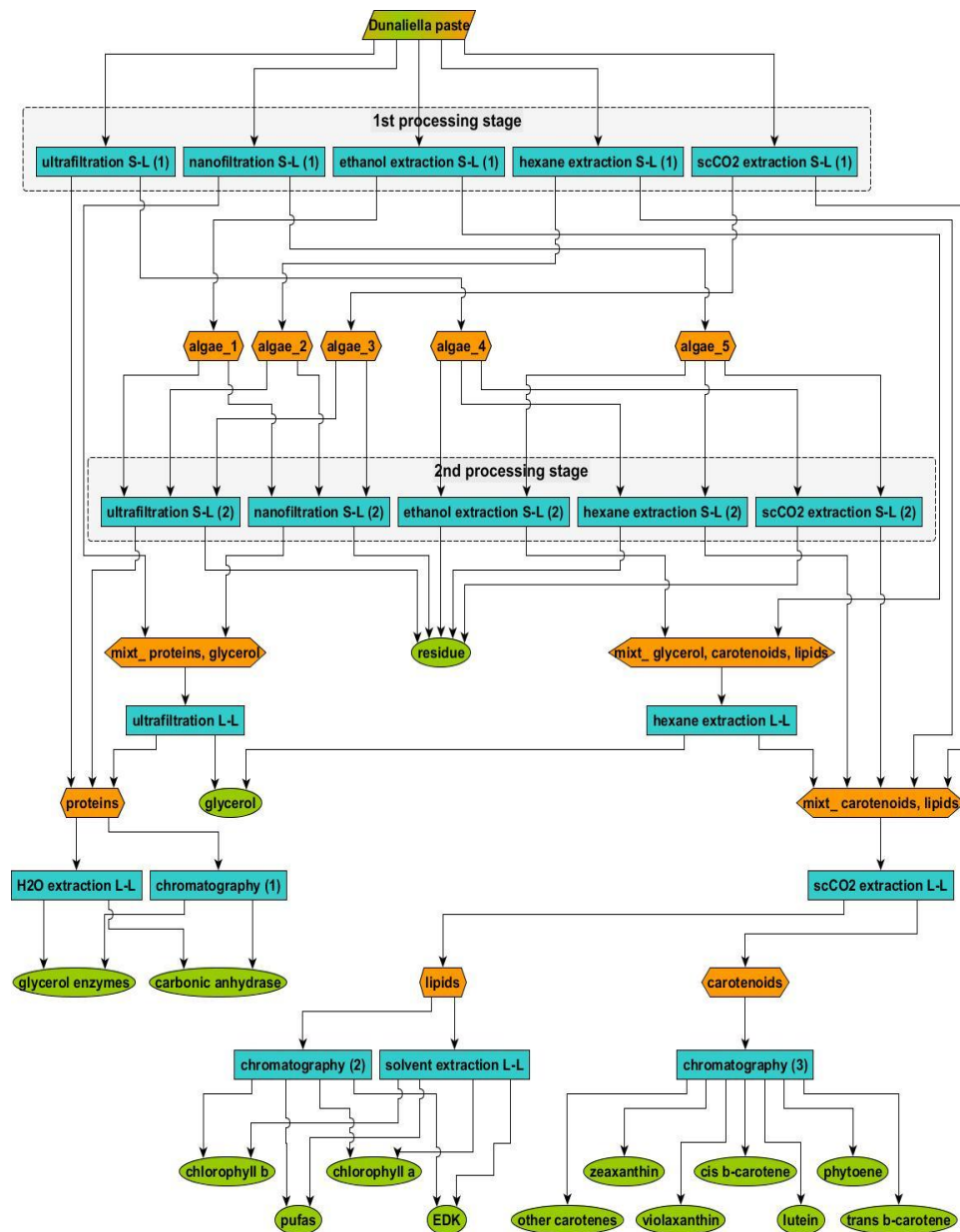


**Εικόνα 6 α. Μονάδες σύνθεσης, β. Συνδέσεις μεταξύ μονάδων (πρώτες ύλες, διεργασίες, ενδιάμεσα προϊόντα και προϊόντα).**

#### 4.2.2. Υπερδομή

Η μελέτη αυτή αναφέρεται στην επεξεργασία του μικροφύκου *dunaliella salina* για την παραγωγή χημικών υψηλής αξίας. Η *dunaliella salina* παρουσιάζει μια εξαιρετική ανοχή στο στρες από την αλατότητα και σε ενδεχόμενους περιβαλλοντικούς ρύπους, καθιστώντας την ιδανική υποψήφια για καλλιέργειες εξωτερικού χώρου μεγάλης κλίμακας. Λόγω της πληθώρας των πιθανών προϊόντων που προσφέρει αυτό το μικροφύκη, θεωρείται η κατάλληλη μελέτη περίπτωσης. Για τους σκοπούς του παρόντος εγγράφου, η πάστα *Dunaliella* θεωρείται η μόνη πρώτη ύλη (1 kt/y). Τα μπλοκ (διεργασίες) που συμμετέχουν είναι: υπερδιήθηση (S-L και L-L), νανοδιήθηση (S-L), εκχύλιση αιθανόλης (S-L), εκχύλιση με εξάνιο (S-L και L-L), εκχύλιση υπερκρίσιμου CO<sub>2</sub> (S-L και L-L) η εκχύλιση (L-L) και η χρωματογραφία (1, 2 και 3), όπου το S-L σημαίνει φάση στερεού υγρού και L-L φάση υγρού-υγρού. Προκειμένου να εξαχθούν πολλά προϊόντα από μικροφύκη, η βιομάζα υποβάλλεται σε δύο στάδια επεξεργασίας που περιλαμβάνουν τις ίδιες τεχνολογίες. Έτσι, ο αριθμός των μπλοκ σύνθεσης είναι 18. Τα ενδιάμεσα μπορούν να είναι κύτταρα μικροφυκών μετά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας (algae\_1 to algae\_5), μείγματα κλασμάτων (πρωτεΐνες / γλυκερόλη, γλυκερόλη / καροτενοειδή / λιπίδια, καροτενοειδή / λιπίδια) ή μοναδικά κλάσματα (λιπαρά, καροτενοειδή, πρωτεΐνες) προσδιορίζοντας τον αριθμό των ενδιάμεσων κόμβων σε 11. Τα προϊόντα είναι συνολικά 15: γλυκερόλη, κατάλοιπα, ένζυμα γλυκερόλης, καρβονική ανυδράση, χλωροφύλλη α και β, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, βιταμίνες E, D και K, trans-β-καροτένιο, cis-β-καροτένιο, γενικευμένα καροτένια, ζεαξανθίνη, βιολαξανθίνη, λουτεΐνη και φυτοένιο. Η υπερδομή της

εικόνας 7 απεικονίζει όλες τις πιθανές συνδέσεις μεταξύ των μονάδων αυτής της περιπτώσιολογικής μελέτης.



Εικόνα 7 Υπερδομή της επεξεργασίας της πάστας dunaliella για παραγωγή χημικών υψηλής αξίας.

Τα μπλοκ σε αυτό το μοντέλο μπορούν να έχουν πολλαπλές συνδέσεις εξόδου σε ενδιάμεσα προϊόντα ή τελικά προϊόντα, αλλά μόνο μία σύνδεση εισόδου από ενδιάμεσα ή πρώτη ύλη. Από την άλλη πλευρά, οι κόμβοι των ενδιάμεσων περιορίζονται σε μία είσοδο και μία σύνδεση εξόδου. Η μελέτη λαμβάνει υπόψη τα στάδια μετά την καλλιέργεια και τη συγκομιδή των μικροφυκών, όπου οι διαδρομές



διαλογής των υποψήφιων τεχνολογιών και των χαρτοφυλακίων προϊόντων είναι ζήτημα ανάγκης λόγω των πολυάριθμων διαθέσιμων επιλογών.

Οι επιλεγμένες διαδρομές που προκύπτουν από το μοντέλο παρουσιάζονται στον Πίνακα III που αναφέρει τις διεργασίες και τα χαρτοφυλάκια προϊόντων για κάθε επιλογή. Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρόλο που η πορεία II έχει λιγότερα προϊόντα στο χαρτοφυλάκιο της και συνεπώς χαμηλότερα έσοδα, θεωρείται πιο αποδοτική λύση από τη διαδρομή III, η οποία έχει μεγαλύτερο χαρτοφυλάκιο προϊόντων. Περαιτέρω, η εκχύλιση υπερκρίσιμου CO<sub>2</sub> L-L και η χρωματογραφία (3) εμφανίζονται σε όλες τις επιλεγμένες διαδρομές, η οποία είναι αυτονόητη με την παρατήρηση της εικόνας 7, αφού αυτές οι δύο διεργασίες εμπλέκονται στην μοναδική διαδρομή για την παραγωγή καροτενοειδών. Επομένως, εάν τα καροτενοειδή επιλέγονται στο χαρτοφυλάκιο προϊόντων, απαιτείται η ακολουθία αυτών των διεργασιών. Αυτό δεν ισχύει για τα λιπίδια ή τις πρωτεΐνες, όπου η επιλογή διεργασίας εφαρμόζεται για τη συνολική διαδρομή (37).

**Πίνακας III**

Selected paths	Processes	Products
I	hexane extraction S-L (1) ultrafiltration S-L (2) supercritical CO <sub>2</sub> extraction L-L solvent extraction L-L chromatography (3) H <sub>2</sub> O extraction L-L	trans-β-carotene, cis-β-carotene, zeaxanthin, violaxanthin, lutein, phytoene, other carotenes, glycerol enzymes, carbonic anhydrase, pufas, EDK vitamins, chlorophyll a and b
II	hexane extraction S-L (1) ultrafiltration S-L (2) supercritical CO <sub>2</sub> extraction L-L chromatography (3)	trans-β-carotene, cis-β-carotene, zeaxanthin, violaxanthin, lutein, phytoene, other carotenes, glycerol enzymes, carbonic anhydrase

	H <sub>2</sub> O extraction L-L	
III	ultrafiltration S-L (1)	glycerol, trans-β-carotene, cis-β-carotene, zeaxanthin, violaxanthin, lutein, phytoene, other carotenes, glycerol enzymes, carbonic anhydrase, pufas, EDK vitamins, chlorophyll a and b
	ethanol extraction S-L (2)	
	hexane extraction L-L	
	supercritical CO <sub>2</sub> extraction L-L	
	solvent extraction L-L	
	chromatography (3)	
	chromatography (1)	

### 4.3. Μαθηματικό μοντέλο

Το προαναφερθέν μοντέλο σύνθεσης (4.2.) βελτιστοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τα οικονομικά δεδομένα και τα αποτελέσματα των βέλτιστων διαδρομών που βασίζονται στην αναπτυγμένη υπερδομή. Για τις μονάδες, μεταβλητές και παράμετροι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τους. Οι παράμετροι αναφέρονται στα δεδομένα εισόδου, όπως οι τιμές, οι αποδόσεις και οι οικονομικοί παράγοντες. Το μοντέλο χρησιμοποιεί συνεχείς και δυαδικές μεταβλητές. Οι ροές εισόδου και εξόδου καθώς και οι μεταβλητές για την οικονομική εκτίμηση θεωρούνται συνεχείς, ενώ οι δυαδικές μεταβλητές παίζουν το ρόλο της λήψης αποφάσεων όσον αφορά την επιλογή ή την αποεπιλογή μονάδων. Επιπλέον, ενσωματώνεται ένας αριθμός περιορισμών στο μοντέλο με τη μορφή ισοζυγίων μάζας, εξισώσεων κόστους και λογικών περιορισμών. Με αυτό τον τρόπο, το μοντέλο διαμορφώνεται σε ένα μικτό ακέραιο πρόβλημα και βελτιστοποιείται με τη χρήση εμπορικού λογισμικού. Επιπρόσθετα, επιλύεται με τη χρήση ακέραιων περικοπών, προκειμένου να παρασχεθούν πολλαπλές λύσεις στο πρόβλημα. Οι εξισώσεις του μοντέλου είναι οι εξής:

**Ισοζύγια μάζας γύρω από μπλοκ**

$$F_t^{\text{in}} = \sum_t RM_{t,f}^{\text{in}} + \sum_t I_{t,i}^{\text{in}}$$

$$F_t^{\text{out}} = \sum_t I_{t,i}^{\text{out}} + \sum_t P_{t,p}^{\text{out}}$$

$$F_t^{\text{in}} = F_t^{\text{out}} + F_t^{\text{loss}}$$

### Μετατροπή ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων

$$I_{t,i}^{\text{out}} = x_{t,i} * F_t^{\text{in}}$$

$$P_{t,p}^{\text{out}} = x_{t,p} * F_t^{\text{in}}$$

### Λογικοί περιορισμοί

$$F_t^{\text{in}} - y_t * F^{\text{limit}} \leq 0$$

$$P_{t,p}^{\text{out}} - z_{t,p} * P^{\text{limit}} \leq 0$$

### Αντικειμενική συνάρτηση

$$PR^{\text{total}} = RV^{\text{total}} - CC^{\text{total}} - OP^{\text{total}}$$

### Συνεχείς μεταβλητές

$F_t^{\text{in}}$ : συνολική ροή μάζας εισόδου σε μια διεργασία t

$F_t^{\text{out}}$ : συνολική ροή μάζας εξόδου σε μια διεργασία t

$F_t^{\text{loss}}$ : συνολική ροή μάζας που χάνεται σε μια διεργασία t

$RM_{t,f}^{\text{in}}$ : ροή μάζας ακατέργαστου υλικού που εισέρχεται σε μια διεργασία t

$I_{t,i}^{\text{in}}$ : η ενδιάμεση ροή μάζας εισέρχεται σε μια διεργασία t

$I_{t,i}^{\text{out}}$ : η ενδιάμεση ροή μάζας εξέρχεται από μια διεργασία t

$P_{t,p}^{\text{out}}$ : ροής μάζας προϊόντος που εξέρχεται από μια διεργασία t

### Παράμετροι

$x_{t,i}, x_{t,p}$ : μετατροπή σε ενδιάμεσο i και προϊόν p σε μία διαδικασία t

$F^{\text{limit}}$ : το όριο χωρητικότητας μιας διαδικασίας t

$P^{\text{limit}}$ : όριο ροής ενός προϊόντος p

$PR^{\text{total}}$ : το συνολικό κέρδος της διεργασίας [M. \$ ανά έτος]

$RV^{\text{total}}$ : συνολικά έσοδα διεργασίας [M. \$ ανά έτος]

$CC^{\text{total}}$ : ετήσιο πάγιο κόστος διεργασίας [M. \$ ανά έτος]

$OP^{\text{total}}$ : λειτουργικό κόστος διεργασίας [M. \$ ανά έτος]

### Δυαδικές μεταβλητές

$y_i$ : δυαδική μεταβλητή που σχετίζεται με την επιλογή / αποεπιλογή μιας διαδικασίας  $t$

$z_{i,p}$ : δυαδική μεταβλητή που σχετίζεται με την επιλογή / αποεπιλογή ενός ζεύγους διεργασιών-προϊόντος. (37)

## 4.4. Εισαγωγή αβεβαιότητας και χρήση Monte Carlo

Στο προαναφερθέν μοντέλο εξαιτίας της διακύμανσης των τιμών των τελικών προϊόντων εισάγονται όροι αβεβαιότητας. Οι όροι αυτοί λαμβάνουν υπόψη τους διαφορετικούς κλάδους που μπορούν να πωληθούν τα τελικά προϊόντα και τα διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά της αγοράς κάθε κλάδου. Η εισαγωγή των όρων αβεβαιότητας γίνεται με την χρήση κατανομών. Οι κατανομές που επιλέχθηκαν είναι οι κατανομές levy, cauchy και lognormal. Η επιλογή τους έγινε για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των διαφορετικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του κάθε κλάδου. Για την επίλυση του προβλήματος έγινε χρήση της μεθοδολογίας Monte Carlo. Η προσομοίωση Monte Carlo, είναι μια στοχαστική διαδικασία όπου με την επαναλαμβανόμενη χρήση τυχαίων αριθμών (ψευδάριθμων) και τη στατιστική γίνεται να λυθεί ένα πρόβλημα. Το νόημα της μεθόδου είναι η χρήση της τυχαιότητας για την επίλυση προβλημάτων που έχουν αιτιοκρατική φύση. Συχνά χρησιμοποιείται σε φυσικά και μαθηματικά προβλήματα όταν είναι δύσκολο ή αδύνατο να χρησιμοποιηθούν άλλες προσεγγίσεις, όπως ακριβώς συμβαίνει στο υπό εξέταση πρόβλημα. Πιο αναλυτικά θα συζητηθεί η αβεβαιότητα και τα πειράματα Monte Carlo στο επόμενο κεφάλαιο.

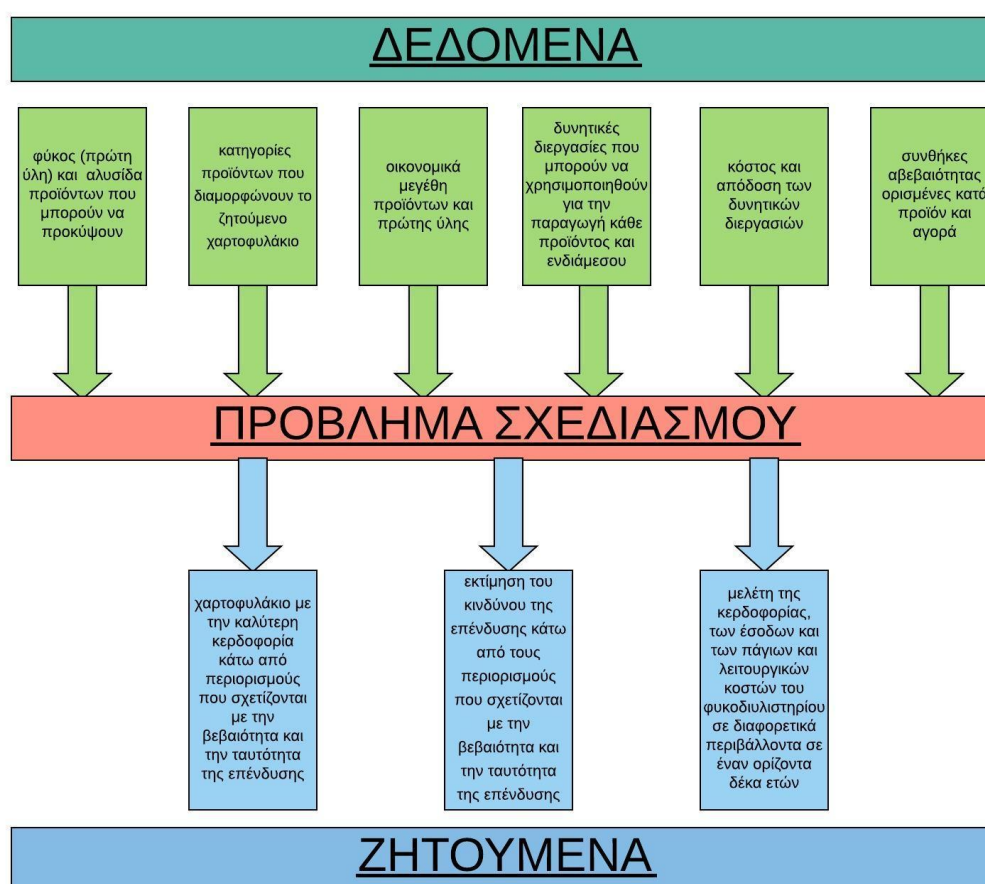
# Κεφάλαιο 5: Βελτιστοποίηση σε

## όρους αβεβαιότητας

Στην ενότητα 4.1 παρουσιάστηκε το πρόβλημα σύνθεσης ενώ στο 4.2 και στο 4.3 παρουσιάζονται αντίστοιχα η αναπαράσταση του προβλήματος και το μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η επέκταση του αρχικού προβλήματος σε όρους αβεβαιότητας αγορών, την κατηγοριοποίηση της αβεβαιότητας όπως εισάγεται στην μεθοδολογία, τη σύνδεσή τους με τις αβέβαιες παραμέτρους του μαθηματικού πρότυπου και, τέλος, την υπολογιστική διαδικασία που υιοθετήθηκε.

### 5.1. Επέκταση του προβλήματος σε όρους αβεβαιότητας

Με βάση τη συζήτηση του Κεφαλαίου 4, το πρόβλημα σύνθεσης μπορεί να αναπαρασταθεί σχηματικά στο σύστημα εισόδου-εξόδου της εικόνας 8.



Εικόνα 8 Το πρόβλημα σχεδιασμού, δεδομένα και ζητούμενα.

Σε συνθήκες αβέβαιων αγορών για τα προϊόντα η ζήτηση και η χρηματική αξία πώλησης τους δεν είναι σταθερές αλλά αποτελούν κατανομές ορισμένες ανάλογα με το είδος των προϊόντων και το είδος των πρώτων υλών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται σε τεχνικές Monte Carlo και αναπτύσσεται στα εξής στάδια:

1. Κατηγοριοποίηση προϊόντων και αντιστοίχιση αβέβαιων κατανομών για τα δεδομένα του προβλήματος
2. Χρήση των κατανομών για επιλογή δεδομένων εισόδου με τεχνικές Monte Carlo
3. Βελτιστοποίηση με χρήση του μαθηματικού προτύπου της ενότητας 4.3 και τις παραμέτρους του (2)
4. Καταγραφή λύσεων, επαναλήψεις και έλεγχος σύγκλισης
5. Ανάλυση αποτελεσμάτων

## 5.2. Αντιστοίχιση κατανομών αβεβαιότητας

Η αντιστοίχιση των κατανομών αβεβαιότητας γίνεται αφού διαπιστωθεί σε ποιες αγορές δύναται να πωληθούν τα προϊόντα. Οι ιδιότητες των προϊόντων συνδέουν τις αγορές με τα προϊόντα που δύναται να πωληθούν σε αυτές. Με βάση τα δεδομένα του προβλήματος έγινε σύνδεση μεταξύ των προϊόντων του πίνακα III και των αγορών που δύναται να πωληθούν. Οι τέσσερις αγορές που προσδιορίστηκαν είναι η αγορά των φαρμακευτικών προϊόντων, η αγορά των διαιτητικών προϊόντων, η αγορά τροφίμων και η αγορά καλλυντικών. Στον πίνακα IV παρουσιάζονται οι αγορές με τα προϊόντα που απορροφούν. Ακόμα παρουσιάζεται η χρησιμοποίηση των προϊόντων που τα καθιστούν κομμάτι των συγκεκριμένων αγορών.

**Πίνακας IV**

Κατηγορία προϊόντων	Χρησιμοποίηση	Προϊόντα
<b>Φαρμακευτικά προϊόντα με</b>	αντιφλεγμονώδη δράση, αντικαταθλιπτικά, για την θεραπεία του άσθματος, της υψηλής χολιστερίνης, της νόσου του Πάρκινσον, της νόσου του	cis-β-καροτένιο, λουτεΐνη, ζεαξανθίνη, βιολαξανθίνη, καρβονική ανυδράση, ένζυμα γλυκερόλης και γλυκερόλη

	Άλτσχάιμερ και της άνοιας.	
<b>Διαιτητικά προϊόντα με</b>	αντιοξειδωτική δράση και συμπληρώματα διατροφής	βιταμίνες E, D και K, cis-β-καροτένιο, trans-β-καροτένιο, φυτοένιο, λουτεΐνη και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα
<b>Τρόφιμα</b>	χρωστικές ουσίες και λειτουργικά συστατικά (πχ. γαλακτωματοποιητές)	χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, γενικευμένα καροτενοειδή, cis-β-καροτένιο, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, λουτεΐνη και τις βιταμίνες E, D και K
<b>Καλλυντικά</b>	κρέμες, αντηλιακά και προϊόντα απολέπισης	cis-β-καροτένιο, γενικευμένα καροτενοειδή, χλωροφύλλη α, χλωροφύλλη β, λουτεΐνη, ζεαξανθίνη και γλυκερόλη

Οι τέσσερις αγορές έχουν διαφορετικά ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Εξαιτίας των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους η ζήτηση και η διακύμανση των τιμών πώλησης των προϊόντων που ανήκουν σε αυτές είναι διαφορετική. Οι αγορές αντιστοιχούνται με κατανομές που συνδέουν την αβεβαιότητα της διακύμανσης τιμής πώλησης των προϊόντων με την αβεβαιότητα των κατανομών. Στον πίνακα V χαρακτηρίζεται η αβεβαιότητα των αγορών και ονομάζεται η κατανομή με την οποία αντιστοιχίστηκαν.

**Πίνακας V**

<b>Αγορά</b>	<b>Αβεβαιότητα</b>	<b>Κατανομή</b>
<b>Φαρμακευτικών προϊόντων</b>	Πολύ υψηλή	Levy

<b>Διαιτητικών προϊόντων</b>	Μέτρια	Κανονική λογαριθμική
<b>Τροφίμων</b>	Χαμηλή	Κανονική λογαριθμική
<b>Καλλυντικών</b>	Υψηλή	Cauchy

Η αγορά των φαρμακευτικών προϊόντων διακατέχεται από πολύ υψηλή αβεβαιότητα με πιθανότητα για υψηλή θετική μεταβολή της αξίας πώλησης των προϊόντων της. Η αγορά των καλλυντικών παρουσιάζει υψηλή αβεβαιότητα με πιθανότητα ραγδαίας μεταβολής της χρηματικής αξίας των προϊόντων της. Οι αγορές των τροφίμων και διαιτητικών προϊόντων διακατέχονται από όχι έντονη αβεβαιότητα με πιθανότητα προς υψηλής θετικής μεταβολής της τιμής πώλησης των προϊόντων τους. Οι πιθανότητες για υψηλή θετική συνολική μεταβολή των τιμών πώλησης αντιπροσωπεύονται από την μορφή των κατανομών που αντιστοιχιστήκαν. Η κατανομή Levy έχει χοντρή και βαριά ουρά. Η κατανομή της κανονικής λογαριθμικής έχει θετική στρέβλωση με μακριά δεξιά ουρά. Αντίθετα η κατανομή Cauchy είναι συμμετρική με βαριά ουρά. Σημαντικό κομμάτι για την μελέτη της αβεβαιότητας των αγορών είναι οι παράμετροι εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στις κατανομές.

### **5.3. Χρήση των κατανομών για επιλογή δεδομένων εισόδου με τεχνικές Monte Carlo**

Για την προσομοίωση της αβεβαιότητας των αγορών διεξάγεται δειγματοληψία από γεννήτριες τυχαίων αριθμών. Οι τυχαίοι αριθμοί (ψευδάριθμοι) δειγματοληπτούνται από τις κατανομές που αντιστοιχιστήκαν στις αγορές. Αν οι κατανομές αντιπροσωπεύουν την αβεβαιότητα και την διακύμανση της χρηματικής αξίας των αγορών, τότε οι ψευδάριθμοι αντιπροσωπεύουν την τιμή πώλησης των προϊόντων των αγορών. Οι αλγόριθμοι που παράγονται οι ψευδάριθμοι περιγράφονται στις παρακάτω υποενότητες.

#### **5.3.1. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κατανομή Levy**

Για την δειγματοληψία τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κατανομή Levy χρησιμοποιείται η παρακάτω μαθηματική φόρμουλα. Πρόκειται για μια τεχνική αντίστροφης μετατροπής δειγματοληψίας. Η θεωρία της πιθανότητας ευσταθούς



μετατροπής (probability integral transform) ορίζει ότι εάν  $X$  είναι μία συνεχής τυχαία μεταβλητή με αθροιστική συνάρτηση κατανομής  $F_x$ , τότε η τυχαία μεταβλητή  $Y = F_x(x)$  έχει ομοιόμορφη κατανομή στο  $(0,1]$ . Το ανάποδο είναι η αντίστροφη μετατροπή δειγματοληψίας όπου εάν το  $Y$  ακολουθεί μία ομοιόμορφη κατανομή στο  $(0,1]$  και το  $X$  έχει μία αθροιστική κατανομή  $F_x$  τότε η τυχαία μεταβλητή  $F_x^{-1}(Y)$  έχει την ίδια κατανομή με το  $X$ . Έτσι για την Levy είναι:

$$X = \mu + \frac{c}{(\Phi^{-1}(1-U/2))^2},$$

όπου το  $U$  είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή  $(0,1]$  και  $\Phi(x)$  είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της κανονικής κατανομής. Οι παράμετροι  $\mu$  και  $c$  είναι οι παράγοντες τοποθεσίας και κλίμακας αντίστοιχα της κατανομής Levy(37).

### 5.3.2. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κατανομή Cauchy

Για την εύρεση τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κατανομή Cauchy χρησιμοποιείται η μέθοδος αντίστροφου μετασχηματισμού δείγματος για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής  $F$  της Cauchy. Δηλαδή η συνάρτηση λύνεται ως προς  $X$  και προκύπτει το εξής:

$$X = \varphi \cdot \tan(\pi(F - 1/2)) + \mu$$

Είναι γνωστό ότι  $0 \leq F \leq 1$ . Το  $\varphi$  είναι η παράμετρος κλίμακας και το  $\mu$  η παράμετρος τοποθεσίας της κατανομής.

### 5.3.3. Δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από την κανονική λογαριθμική κατανομή

Αν μια τυχαία μεταβλητή ακολουθεί την κανονική λογαριθμική κατανομή τότε ο λογάριθμος της θα ακολουθεί την κανονική κατανομή και μπορεί να γραφεί  $X = e^{\mu + \sigma Z}$  όπου το  $Z$  είναι μια μεταβλητή που ακολουθεί την κανονική κατανομή. Οι δύο παράμετροι  $\mu$  και  $\sigma$  δεν είναι παράμετροι τοποθεσίας και κλίμακας για την μεταβλητή  $X$  που ακολουθεί την κανονική λογαριθμική κατανομή αλλά για το  $\ln(X)$  που ακολουθεί την κανονική κατανομή.

Αν  $m$  και  $u$  η παράμετρος τοποθεσίας και κλίμακας αντίστοιχα για την κανονική λογαριθμική κατανομή που ακολουθεί το  $X$  τότε οι σχέσεις που έχουν οι παράμετροι  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $m$ ,  $u$  είναι οι εξής:

$$\mu = \ln\left(m / \sqrt{1 + \frac{u}{m^2}}\right), \sigma^2 = \ln\left(1 + \frac{u}{m^2}\right)$$

Όπως ειπώθηκε  $X = e^{\mu + \sigma Z}$  αν λοιπόν χρησιμοποιηθεί γεννήτρια αριθμών της κανονικής κατανομής για τον υπολογισμό του  $Z$  και υπολογιστούν οι παράμετροι  $\mu$  και  $\sigma$  με βάση τις παραπάνω σχέσεις που τα συνδέουν με τις παραμέτρους  $m$  και  $u$  μπορεί να υπολογιστεί ψευδάριθμος  $X$  που ακολουθεί την κανονική λογαριθμική κατανομή με παραμέτρους  $m$  και  $u$  (38).

### 5.3.4. Παράμετροι τοποθεσίας και κλίμακας για τις κατανομές

Για την δειγματοληψία τυχαίων αριθμών από τις κατανομές είναι απαραίτητο να δοθούν οι κατάλληλοι παράγοντες κλίμακας και τοποθεσίας. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν μέρος της αβεβαιότητας των αγορών και των προϊόντων.

Για την εισαγωγή του παράγοντα τοποθεσίας στις κατανομές προβλέφθηκαν 5 σενάρια. Τα σενάρια εκτιμήθηκαν με την θέση ότι η κατακόρυφη αύξηση παραγωγής προϊόντων, που μέχρι σήμερα παράγονταν σε μικρές ποσότητες, θα επηρεάσει την τιμή πώλησης τους. Τα σενάρια ανήκουν σε τρεις κατηγορίες αισιόδοξα, ρεαλιστικά και απαισιόδοξα, που εκτιμούν την μελλοντική συμπεριφορά των αγορών. Ο παράγοντας τοποθεσίας υπολογίζεται ως ποσοστό επί της αρχικής τιμής πώλησης των προϊόντων για κάθε σενάριο ξεχωριστά. Στον πίνακα VI αναγράφονται ο παράγοντας τοποθεσίας για κάθε σενάριο και η εκτίμηση της αγοράς.

**Πίνακας VI**

Σενάρια	Εκτίμηση	Παράγοντας τοποθεσίας
Σενάριο 1	Αισιόδοξη	100% της αρχικής τιμής του προϊόντος
Σενάριο 2	Ρεαλιστική	80% της αρχικής τιμής του προϊόντος
Σενάριο 3		60% της αρχικής τιμής του προϊόντος

<b>Σενάριο 4</b>	Απαισιόδοξη	50% της αρχικής τιμής του προϊόντος
<b>Σενάριο 5</b>		40% της αρχικής τιμής του προϊόντος

Για παράδειγμα η τιμή της λουτεΐνης είναι 2,7324 m.\$/t ,οπότε στο σενάριο 1 ο παράγοντας τοποθεσίας για την λουτεΐνη είναι  $2,7324*100\% = 2,7324$  m.\$/t. Στο σενάριο 5 ο παράγοντας τοποθεσίας της είναι  $2,7324*40\% = 1,09296$  m.\$/t.

Ο παράγοντας κλίμακας υπολογίζεται ως ποσοστό του παράγοντα τοποθεσίας για κάθε προϊόν. Ο λόγος που επιλέχθηκε ένας δυναμικός τρόπος υπολογισμού οφείλεται στην παραδοχή ότι υψηλότερη αξία πώλησης συνεπάγεται υψηλότερη διακύμανση της τιμής. Ακόμα το ακριβές ποσοστό καθορίστηκε με τρόπο όπου τα προϊόντα ανάλογα με την αγορά που ανήκουν και την κατανομή που αντιστοιχίστηκε σε αυτά εμφανίζουν την ανάλογη αβεβαιότητα ως προς το εύρος τιμών πώλησης. Ο τρόπος υπολογισμού αναγράφεται στον πίνακα VII .

#### Πίνακας VII

<b>Ομάδα προϊόντων</b>	<b>Παράγοντας κλίμακας</b>
Φαρμακευτικά προϊόντα	20% του παράγοντα τοποθεσίας
Διαιτητικά προϊόντα	100% του παράγοντα τοποθεσίας
Τρόφιμα	50% του παράγοντα τοποθεσίας
Καλλυντικά	20% του παράγοντα τοποθεσίας

Σε συνέχεια του παραδείγματος για τον παράγοντα τοποθεσίας της λουτεΐνης, για το σενάριο 1 και την ομάδα των καλλυντικών ο παράγοντας κλίμακας είναι  $2,7324*20\%=0,54648$  m.\$/t για την λουτεΐνη. Όταν η λουτεΐνη ανήκει στην ομάδα των διαιτητικών προϊόντων για το σενάριο 5 ο παράγοντας κλίμακας είναι για αυτήν  $1,09296*100\%=1,09296$  m.\$/t.

## **5.4. Βελτιστοποίηση με χρήση του μαθηματικού προτύπου της ενότητας 4.3. και τις παραμέτρους του 5.3.**

Το μοντέλο της ενότητας 4.3. θεωρούσε τις τιμές πώλησης των προϊόντων σταθερές χωρίς να εξετάζει την διακύμανση τους στο χρόνο. Με την εισαγωγή των κατανομών και των παραγόντων κλίμακας και τοποθεσίας είναι δυνατή η δειγματοληψία τυχαίων αριθμών που αντιπροσωπεύουν την τιμή πώλησης των προϊόντων ανάλογα το προϊόν και την αγορά. Έτσι είναι δυνατή η δειγματοληψία ενός μεγάλου εύρους τιμών πώλησης που η αβεβαιότητα τους ακολουθεί την αβεβαιότητα της αγοράς.

Επομένως για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης το πρώτο βήμα είναι η δειγματοληψία τυχαίων αριθμών για κάθε σενάριο και ομάδα προϊόντων. Συνολικά προκύπτουν είκοσι συνδυασμοί, αφού τα σενάρια είναι πέντε και οι ομάδες τέσσερις. Όταν επιλεγθεί ο συνδυασμός ομάδας και προϊόντων κατασκευάζεται ο απαραίτητος αλγόριθμος για την δειγματοληψία των ψευδάρθμων.

Τα προϊόντα που ανήκουν στην ομάδα αποκτούν νέα χρηματική αξία από την δειγματοληψία. Τα προϊόντα που δεν ανήκουν στην ομάδα έχουν μηδενική τιμή πώλησης. Αρχικά υπολογίζονται για τα προϊόντα της ομάδας οι παράγοντες κλίμακας και τοποθεσίας όπως ορίστηκε στην ενότητα 5.3. Στην συνέχεια κατασκευάζεται για την κάθε ομάδα ο αλγόριθμος δειγματοληψίας τυχαίων αριθμών που αντιστοιχεί στην κατανομή που επιλέχτηκε για την ομάδα. Για κάθε προϊόν της ομάδας δίδονται στον αλγόριθμο οι παράγοντες κλίμακας και τοποθεσίας. Ο αλγόριθμος τότε υπολογίζει έναν τυχαίο αριθμό που ακολουθεί την κατανομή που αντιστοιχεί στην ομάδα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Microsoft excel. Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται ο υπολογισμός των παραγόντων κλίμακας και τοποθεσίας για την ομάδα των καλλυντικών για το σενάριο 1. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται ο υπολογισμός τυχαίων αριθμών από τον αλγόριθμο της κατανομής Cauchy για την ίδια ομάδα και σενάριο. Οι τιμές με αρνητική τιμή απορρίπτονται και επαναλαμβάνεται η δειγματοληψία.

E	F	G	H
	Αρχική Τιμή	Παρ. τοποθεσίας μ	Παρ. κλίμακας φ
glycerol	0,00087032	0,00087032	0,000174064
glyc_enzymes	0,4		
carb_anhydrase	0,018		
cis_b_car	8,55415	8,55415	1,71083
phytoene	8		
zeaxanthin	6,9838	6,9838	1,39676
carotenes	1	1	0,2
trans_b_car	2,644		
violaxanthin	4,65134		
lutein	2,7324	2,7324	0,54648
pufas	0,009097		
EDK	0,0005686		
chlor_a	1,9103	1,9103	0,38206
chlor_b	1,7	1,7	0,34
residue	0	0	0

Εικόνα 9 Υπολογισμός παραγόντων κλίμακας και τοποθεσίας.

I	J	K	L
Rand()-0,5	PI()*[Rand()-0,5]	φ*TAN{PI()*[Rand()-0,5]}	φ*TAN{PI()*[Rand()-0,5]}+ μ
-0,049563271	-0,155707608	-2,73243E-05	0,000842996
0,40819811	1,282392184	5,766668196	14,3208182
0,484071396	1,520755141	27,88890601	34,87270601
0,192158102	0,60368248	0,137911305	1,137911305
0,213684891	0,671310882	0,434118287	3,166518287
-0,165725372	-0,520641611	-0,219078588	1,691221412
0,382459014	1,201530428	0,878510149	2,578510149
0	0	0	0

Εικόνα 10 Υπολογισμός ψευδάρθμων για την κατανομή Cauchy.

## 5.5. Καταγραφή λύσεων, επαναλήψεις και έλεγχος σύγκλισης

Οι ψευδάρθμοι που υπολογίστηκαν στην ενότητα 5.4 αντιπροσωπεύουν τις τιμές πώλησης των προϊόντων ανάλογα το σενάριο που επιλέχθηκε και την ομάδα που ανήκουν. Αφού ολοκληρωθεί η δειγματοληψία οι τιμές που αποκτήθηκαν δίνονται στο πρόγραμμα GAMS που επιλύει το μαθηματικό μοντέλο της ενότητας 4.3. Οι

τιμές που δόθηκαν στο GAMS καταγράφονται στο Microsoft excel. Το GAMS υπολογίζει το κέρδος, τα έσοδα και τα πάγια, πάγια ανά έτος και λειτουργικά κόστη του φυκοδιωλιστηρίου του μοντέλου της ενότητας 4.2 σε έναν ορίζοντα δέκα ετών. Ακόμα υπολογίζει τα προϊόντα που παράγονται.

Το GAMS έχει προγραμματιστεί να δίδει στον χρήστη τις εκατό πρώτες βέλτιστες λύσεις του μαθηματικού μοντέλου. Ξεκινά από την λύση με την βέλτιστη κερδοφορία και προχωράει προς την αμέσως χαμηλότερη. Η κάθε λύση ή αλλιώς path είναι μια μοναδική εικόνα ενός φυκοδιωλιστηρίου του μοντέλου της ενότητας 4.2. Τα αποτελέσματα που δίδει το GAMS καταγράφονται στο Microsoft excel.

	profit	revenue	capital cost	an. capital cost	operation cost	Product	Price
Path1	14.07	35.19	57.48	5.75	15.38	glycerol	0,000995
Path2	13.52	39.01	80.87	8.09	17.40	glyc_enz	0,463976
Path3	13.25	35.19	59.91	5.99	15.95	carb_anhy	0,065314
Path4	13.25	35.19	59.91	5.99	15.95	cis_b_car	8,743651
Path5	12.99	39.01	84.20	8.42	17.60	phytoene	0
Path6	12.71	39.01	83.30	8.33	17.97	zeaxanthi	7,970639
Path7	12.71	39.01	83.30	8.33	17.97	carotenes	0
Path8	12.35	37.51	78.84	7.88	17.28	trans_b_c	0
Path9	12.18	39.01	86.63	8.66	18.17	violaxanth	7,164969
Path10	12.18	39.01	86.63	8.66	18.17	lutein	6,554943
Path11	12.01	35.19	65.80	6.58	16.60	pufas	0
Path12	11.56	38.96	88.26	8.83	18.57	EDK	0
Path13	11.53	37.51	81.28	8.13	17.85	chlor_a	0
Path14	11.53	37.51	81.28	8.13	17.85	chlor_b	0
Path15	11.47	39.02	89.20	8.92	18.63	residue	0
Path16	11.35	38.81	94.66	9.47	18.00		
Path17	11.19	35.19	68.24	6.82	17.18		
Path18	11.19	35.19	68.24	6.82	17.18		
Path19	10.98	39.06	92.52	9.25	18.83		
Path20	10.82	38.82	97.99	9.80	18.20		

**Εικόνα 11 Καταγραφή δεδομένων εισόδου και εξόδου για τα πρώτα 20 paths για την ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων στο σενάριο 1.**

	glycerol	glyc_enzy	carb_anhy	cis_b_car	phytoene	zeaxanthi	carotenes	trans_b_c	violaxanti	lutein	pufas	EDK	chlor_a	chlor_b	residue
Path1	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path2	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path3	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path4	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path6	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path7	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path8	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path9	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path10	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path11	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path12	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path13	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path14	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path15	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path16	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path17	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path18	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path19	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Path20	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Εικόνα 12 Καταγραφή προϊόντων που επιλέχθηκε να παραχθούν στο σενάριο 1 για την ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων. Το 1 συμβολίζει παραγωγή το 0 μη παραγωγή.**

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται δέκα φορές για κάθε ομάδα και σενάριο. Δηλαδή έγιναν 10 επαναλήψεις για το σενάριο 1 της ομάδας των φαρμακευτικών προϊόντων, 10 επαναλήψεις για το σενάριο 5 της ομάδας των τροφίμων κοκ. Οι λύσεις που υπολογίστηκαν από το GAMS και οι τιμές πώλησης που δόθηκαν στο GAMS είναι όλες καταγεγραμμένες.

Για κάθε ομάδα και σενάριο υπολογίζονται και καταγράφεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των δέκα επαναλήψεων που επιτελέστηκαν για τα παρακάτω μεγέθη χρηματική αξία πώλησης προϊόντων, κέρδος, έσοδα, πάγιο κόστος, πάγιο κόστος ανά έτος και λειτουργικό κόστος. Για τα προϊόντα που επιλέγεται να παραχθούν υπολογίζεται μόνο ο μέσος όρος. Οι υπολογισμοί έγιναν στο Microsoft excel.

	average				
	profit	revenue	capital cost	an. capital cost	operation cost
Path1	39,37	62,782	69,841	6,986	16,43
Path2	38,824	62,864	72,576	7,259	16,783
Path3	38,583	62,782	72,361	7,235	16,963
Path4	38,455	63,363	76,553	7,655	17,253
Path5	38,133	63,226	78,383	7,838	17,255
Path6	37,919	63,2	77,701	7,77	17,509
Path7	37,838	63,909	82,306	8,23	17,837
Path8	37,499	63,541	82,466	8,244	17,792
Path9	37,345	64,462	88,24	8,823	18,293
Path10	37,201	63,275	81,907	8,19	17,884
Path11	37,035	62,817	79,82	7,983	17,8
Path12	36,897	62,776	79,977	7,997	17,883
Path13	36,738	62,604	81,849	8,185	17,679
Path14	36,621	63,07	83,471	8,349	18,101
Path15	36,526	64,299	90,586	9,059	18,714
Path16	36,433	63,675	88,79	8,879	18,365
Path17	36,311	63,004	85,316	8,531	18,16
Path18	36,219	62,979	86,411	8,641	18,118
Path19	35,892	62,976	88,318	8,832	18,251
Path20	35,736	63,629	92,268	9,227	18,665

**Εικόνα 13 Υπολογισμός μέσου όρου οικονομικών μεγεθών του φυκοδυλιστηρίου για το σενάριο 1 της ομάδας των φαρμακευτικών προϊόντων.**

	τυπική απόκλιση				
	profit	revenue	capital cost	an. capital cost	operation cost
Path1	22,23252	23,33828	13,08625186	1,308418893	1,109204
Path2	22,21312	23,29532	12,02736158	1,203332872	0,995758
Path3	22,21626	23,33828	13,17333624	1,317137047	1,079012
Path4	22,23079	22,6139	11,64690617	1,164839045	0,940863
Path5	22,22564	22,47734	10,51949096	1,051684363	0,871579
Path6	22,21617	22,91615	11,16859033	1,117367939	0,961046
Path7	22,16984	22,76848	8,500345352	0,849666601	0,748926
Path8	22,11457	22,70929	7,36608776	0,736209511	0,657264
Path9	22,21185	22,8078	5,190412101	0,521153635	0,529802
Path10	22,18096	22,04879	9,551613069	0,955405673	0,867361
Path11	22,1592	23,16187	10,91694605	1,093567556	0,930161
Path12	22,24178	23,46742	12,67270036	1,268341437	1,052606
Path13	22,11488	22,47856	9,402009773	0,943059442	0,63567
Path14	22,16544	22,32463	10,07650121	1,009680367	0,850313
Path15	22,18062	22,50488	3,896942391	0,389827597	0,493586
Path16	22,17967	22,82699	9,302178956	0,930871157	0,674574
Path17	22,10326	23,50518	11,61268196	1,162692756	0,933048
Path18	22,11523	22,7251	11,57209138	1,159496538	0,905327
Path19	21,75784	22,22435	9,500199764	0,951651197	0,823373
Path20	21,57601	21,52131	3,870279347	0,387500538	0,559687

**Εικόνα 14 Η τυπική απόκλιση των δέκα επαναλήψεων για το σενάριο 1 της ομάδας των φαρμακευτικών προϊόντων.**



## 5.6. Ανάλυση αποτελεσμάτων

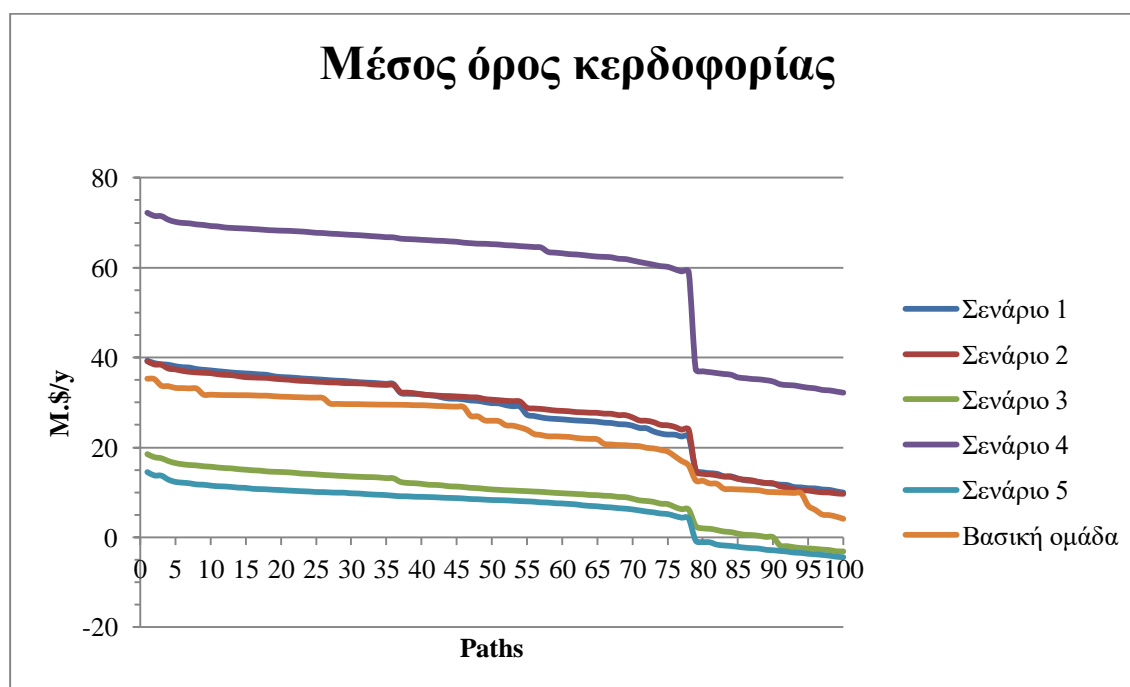
Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων με την βοήθεια σχεδιαγραμμάτων. Τα σχεδιαγράμματα που σχεδιάστηκαν βασίζονται στους μέσους όρους και τις τυπικές αποκλίσεις που υπολογίστηκαν στην ενότητα 5.5. Τα διαγράμματα παρέχουν πληροφορίες και δεδομένα για όλες τις ομάδες και όλα τα σενάρια. Με την βοήθεια των σχεδιαγραμμάτων γίνεται σύγκριση μεταξύ των σεναρίων και των ομάδων. Έτσι μπορούν να ευρεθούν κοινοί τόποι και διαφορές.

Τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν είναι του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης του κέρδους, των εσόδων, του πάγιου και λειτουργικού κόστους για την ανάλυση της βιωσιμότητας του φυκοδυλιστηρίου σε συνθήκες αβεβαιότητας. Τα οικονομικά μεγέθη εξελίσσονται με βάση τις 100 λύσεις (paths), που υπολόγισε το πρόγραμμα GAMS. Ακόμα σχεδιάστηκαν τα διάγραμμα εμφάνισης προϊόντων για την ανάλυση του χαρτοφυλακίου προϊόντων του φυκοδυλιστηρίου σε συνθήκες αβεβαιότητας. Τέλος σχεδιάστηκαν σχεδιαγράμματα που απεικονίζουν τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση της τιμής των προϊόντων, όπως επίσης την μέση τιμή πώλησης των προϊόντων ως προς την αρχική τιμή πώλησης. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων οδηγεί στην σύνθεση φυκοδυλιστηρίου που θα είναι ευέλικτο στις αλλαγές της αγοράς, επιτυγχάνοντας υψηλή κερδοφορία με χαμηλό ρίσκο.

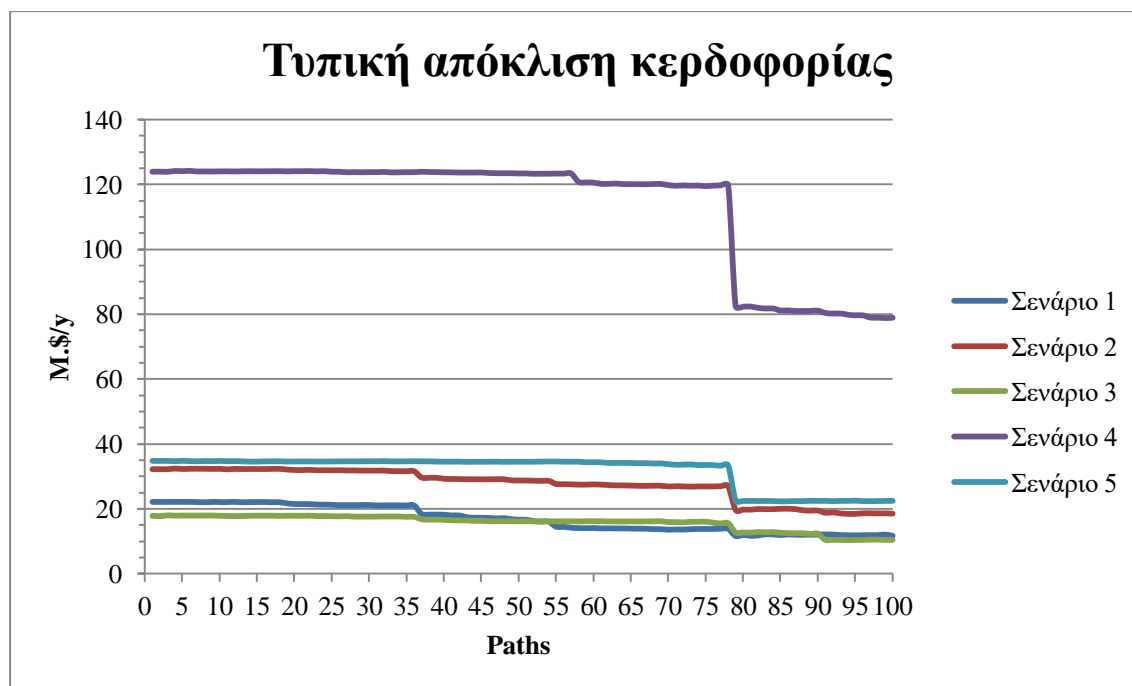
## Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

Χάρης στις τεχνικές Μόντε Κάρλο στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οικονομικά μεγέθη του φυκοδυλιστηρίου, η εμφάνιση επιλογής παραγωγής προϊόντων και οι τιμές πώλησης τους. Βασική ομάδα ονομάζεται η παραγωγή όλων των προϊόντων ταυτόχρονα στις αρχικές τιμές πώλησης τους. Αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης αν τίποτα δεν αλλάξει στις αγορές και στα προϊόντα, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούνται όλες οι δυνατές επιλογές παραγωγής. Τα διαγράμματα ανήκουν σε δύο κατηγορίες, είτε περιέχουν τον μέσο όρο των επαναλήψεων που τελέστηκαν για τα σενάρια και τις ομάδες, είτε χρησιμοποιούν την τυπική απόκλιση τους. Ο μέσος όρος συμβολίζει ένα ξεχωριστό μονοπάτι που συντέθηκε από πολλές διαφορετικές τυχαίες διαδρομές.

### 6.1. Διαγράμματα φαρμακευτικών προϊόντων



Σχήμα 1



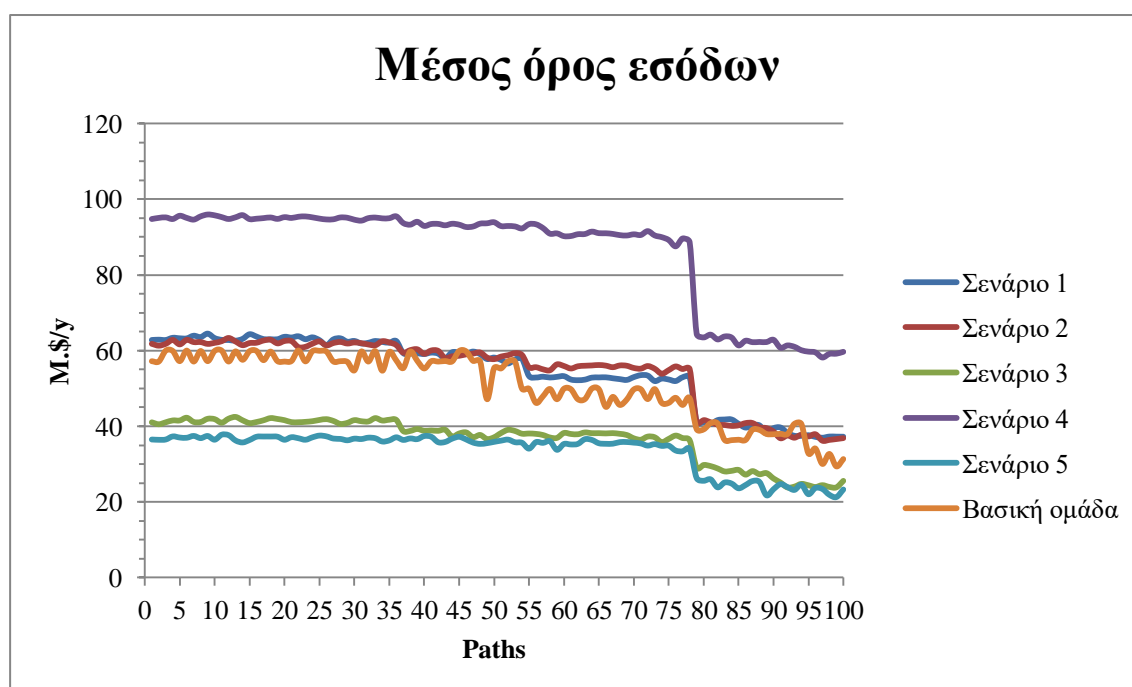
**Σχήμα 2**

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 1 τα σενάρια 1, 2 και 4 ήταν κερδοφόρα για όλα τα paths. Αντίθετα τα σενάρια 3 και 5 ήταν ζημιογόνα στα τελευταία paths. Τρία σενάρια (1, 2 και 4) ήταν πιο κερδοφόρα από ότι η βασική ομάδα. Μάλιστα τα σενάρια 1 και 2 ήταν αρκετά κοντά μεταξύ τους, με το 1 να ξεκινά και να τελειώνει ανεπαίσθητα πιο κερδοφόρο, ενώ σε ορισμένα σημεία το σενάριο 2 το ξεπέρασε ελαφρώς. Η βασική ομάδα ήταν λίγο πιο κάτω από τα σενάρια 1 και 2 ελαχιστοποιώντας την απόσταση σε τρία σημεία. Ακόμα το σενάριο 4 παρότι αναμενόταν να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τα σενάρια 3 και 5, είναι το πλέον κερδοφόρο με μεγάλη απόσταση σε σχέση με τα άλλα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των πολύ υψηλών τιμών που απέκτησαν το cis-β-καροτένιο και η λουτεΐνη.

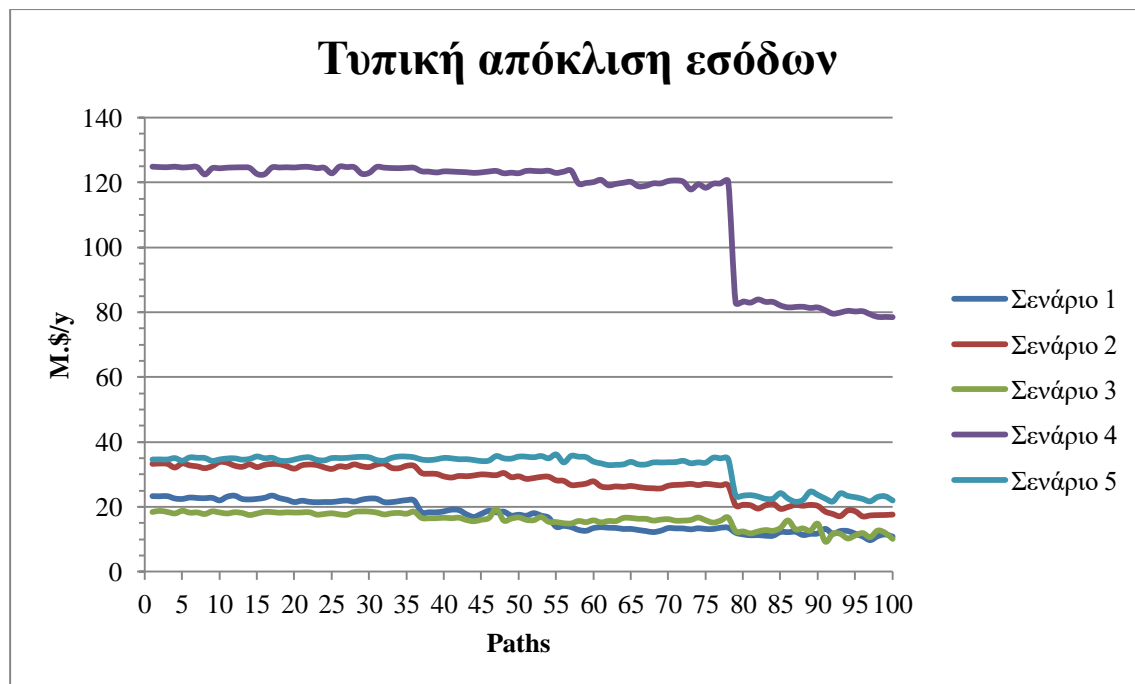
Έχει ενδιαφέρον ότι όλα τα σενάρια στο path 79 εμφανίζουν μια μεγάλη πτώση της κερδοφορίας, που δεν ακολουθεί την γραμμικότητα των ευθειών. Αυτή η έντονη αλλαγή δεν παρατηρείται τόσο έντονα στην βασική ομάδα και είναι χαρακτηριστικό της ομάδας των φαρμακευτικών προϊόντων και άλλων ομάδων που θα εξεταστούν αργότερα. Αυτή η αλλαγή δεν σχετίζεται με το απότομο σταμάτημα παραγωγής κάποιου ή κάποιων προϊόντων. Εξαιρούμενης αυτή της ασυνέχειας όλες οι γραμμές των φαρμακευτικών προϊόντων είναι πιο ομαλές από την γραμμή της βασικής ομάδας.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η τυπική απόκλιση της ομάδας. Η κλίση της τυπικής απόκλισης των σεναρίων είναι ελαφρώς φθίνουσα και η απόκλιση πρακτικά

παραμένει σταθερή. Εξαιρέση αποτελεί η ασυνέχεια που επανεμφανίστηκε στο path 79 όπως και στο διάγραμμα κερδοφορίας. Είναι πιο έντονη για το σενάριο 4 που έχει την μεγαλύτερη κερδοφορία και μετά για το σενάριο 5 που εμφανίζει την μικρότερη. Επίσης εμφανίζεται και στο σενάριο 2. Στα σενάρια 3 και 1 είναι αρκετά μικρή και μπορεί να θεωρηθούν οι καμπύλες γραμμικές και συνεχόμενες. Είναι ενδιαφέρον ότι τα σενάρια 1 και 2 ενώ έχουν όμοια κερδοφορία έχουν μεγάλη διαφορά στην μεταξύ τους τυπική απόκλιση με το σενάριο 2 να έχει σχεδόν 60% περισσότερη στο ξεκίνημα του. Το σενάριο 4 εμφανίζει αρκετά υψηλότερη τυπική απόκλιση σε σχέση με τον μέσο όρο των κερδών του.



Σχήμα 3

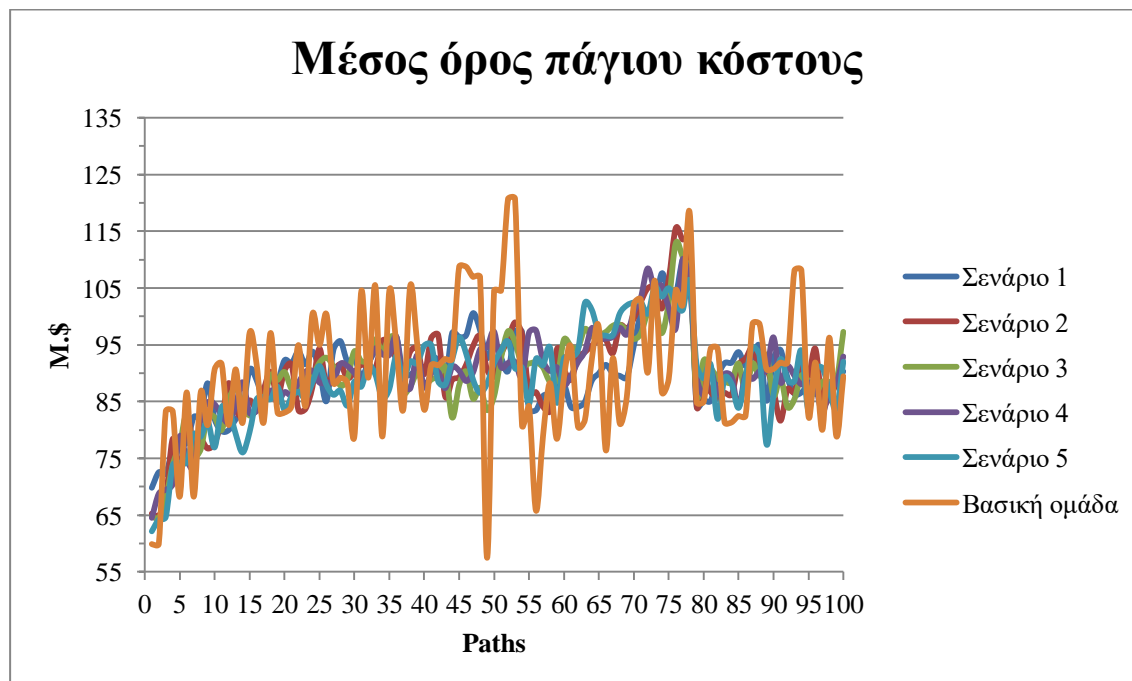


**Σχήμα 4**

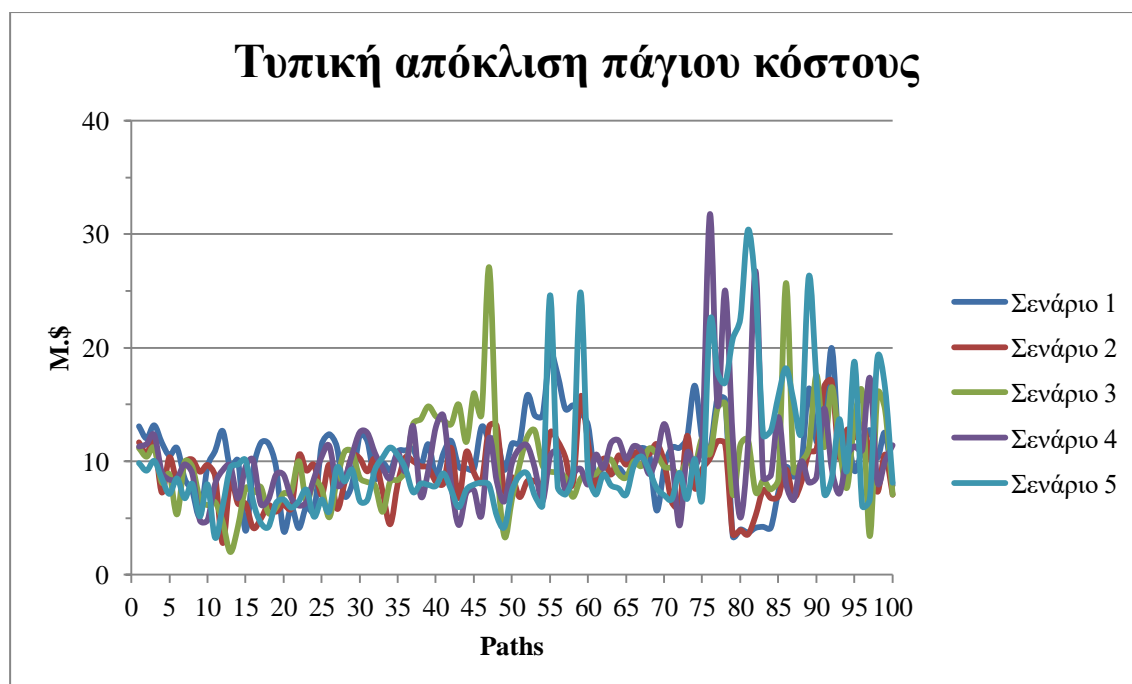
Στο παραπάνω σχήμα 3 φαίνονται τα έσοδα για τα διάφορα paths. Οι καμπύλες έχουν αρκετές μικρές σε έκταση διακυμάνσεις. Σαφώς περισσότερες σε σχέση με τα διαγράμματα κερδοφορίας που εξετάστηκαν, με την βασική ομάδα να έχει τις περισσότερες. Η ασυνέχεια που εμφανιζόταν στο path 79, επανεμφανίζεται εδώ. Μάλιστα σε όλες τις καμπύλες συμπεριλαμβανομένης της βασικής ομάδας υπάρχει πτώση σε εκείνο το σημείο. Η σειρά αξίας των εσόδων είναι ίδια με αυτή της κερδοφορίας. Είναι αξιοσημείωτο ότι υπάρχει path με μεγαλύτερα έσοδα για την βασική ομάδα σε σύγκριση με τα σενάρια 1 και 2. Κάτι που δεν συνέβαινε στην κερδοφορία. Αυτό οφείλεται στα υψηλότερα λειτουργικά έξοδα, λόγω παραγωγής περισσότερων προϊόντων που μειώνουν την κερδοφορία.

Η τυπική απόκλιση των εσόδων (σχήμα 4) μοιράζεται κοινά χαρακτηριστικά με την τυπική απόκλιση που εμφανίστηκε στην κερδοφορία. Η σειρά μείωσης της τυπικής απόκλισης των σεναρίων είναι ίδια με την σειρά μείωσης στην απόκλιση της κερδοφορίας. Το ύψος της τυπικής απόκλισης είναι ίδιο ή χαμηλότερο σε όλα τα σενάρια σε σχέση με τον μέσο όρο εσόδων για τα άμεσα συνδεδεμένα paths. Εξαιρέση αποτελεί το σενάριο 4 που εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερη. Μάλιστα η τυπική απόκλιση του είναι πολλαπλάσια σε σχέση με τα άλλα σενάρια, φτάνοντας ακόμα και πάνω από 6 φορές μεγαλύτερη. Όπως η καμπύλη εσόδων σε σχέση με την καμπύλη κερδοφορίας έτσι και αυτή έχει περισσότερες διακυμάνσεις, με την μεγάλη πτώση στο path 79 να εμφανίζεται και εδώ στα σενάρια 2, 4 και 5. Τα σενάρια 3 και 1

δεν εμφανίζουν μεγάλη πτώση στο σημείο αυτό. Η τυπική απόκλιση εμφανίζει την τάση να μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των paths.



Σχήμα 5

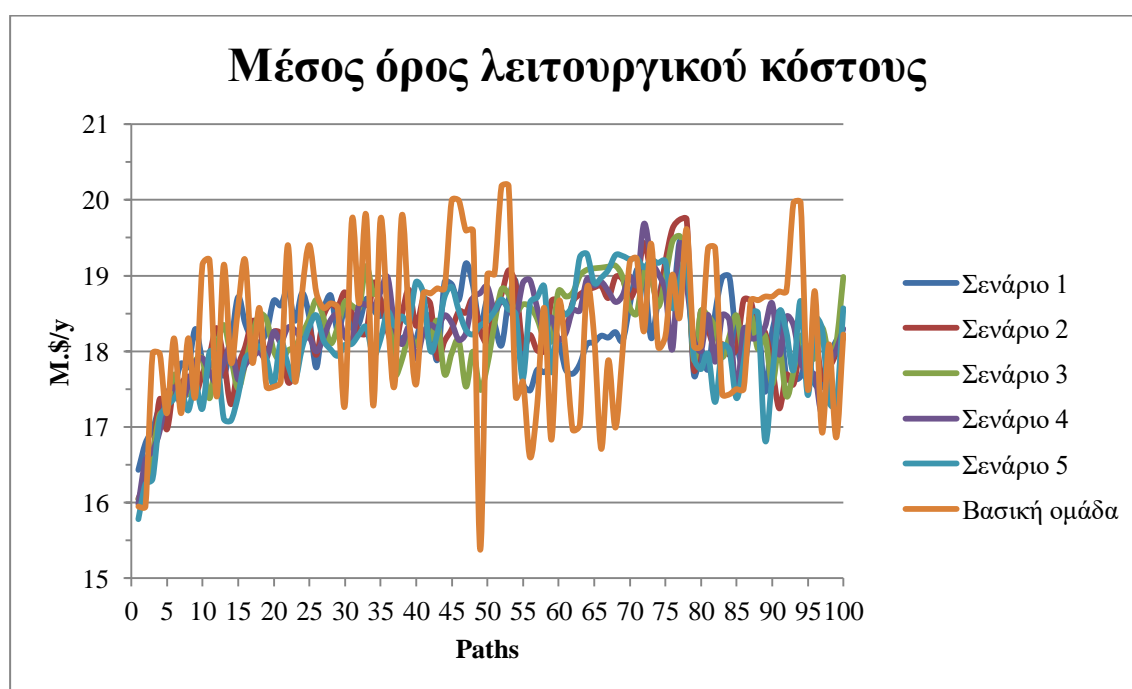


Σχήμα 6

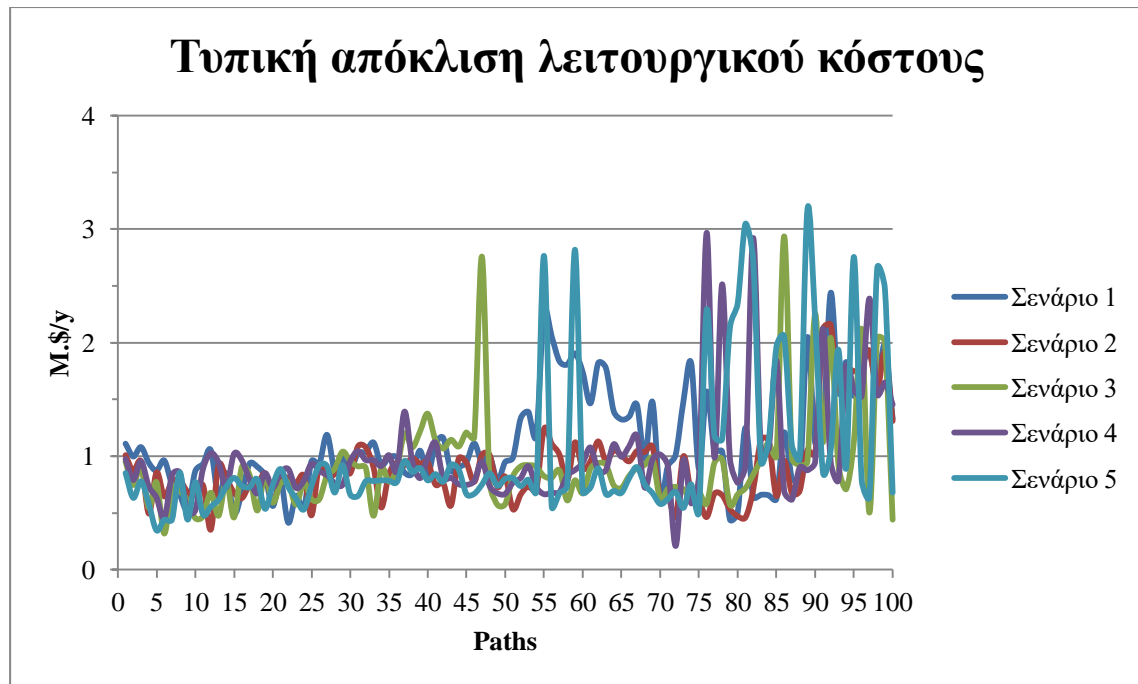
Το πάγιο κόστος κατασκευής του βιοδιωλιστηρίου κινείται στην ίδια τάξη μεγέθους ανά path για όλα τα σενάρια όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Μεγαλύτερη σημασία έχει το path παρά τα σενάρια. Υπάρχουν πολλές και έντονες διακυμάνσεις σε όλα τα σενάρια. Η γενική τάση είναι αύξηση του κόστους μέχρι το path 79 και

ύστερα απότομη μείωση του και έπειτα σταθεροποίηση του σε εκείνο το επίπεδο τιμών. Λόγω της παραγωγής λιγότερων προϊόντων τα σενάρια έχουν λιγότερη διακύμανση από την βασική ομάδα. Όπως επίσης έχουν μικρότερο μέγιστο και μεγαλύτερο ελάχιστον πάγιου κόστους. Με άλλα λόγια η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων είναι πιο συνεκτική από την βασική ομάδα.

Η απόκλιση του παγίου κόστους είναι στην ίδια τάξη μεγέθους σχεδόν για όλα τα σενάρια ανά path (σχήμα 6). Όπως και στο διάγραμμα του πάγιου κόστους το συγκεκριμένο path έχει μεγαλύτερη σημασία για την απόκλιση από ότι το σενάριο. Η διακύμανση της απόκλισης μεγιστοποιείται στην μέση του διαγράμματος και στα τελευταία 25 path. Τα σενάρια 1 και 2 εμφανίζουν μικρότερες διακυμάνσεις σε σχέση με τα άλλα τρία σενάρια. Η απόκλιση του σεναρίου 4 είναι στα ίδια επίπεδα με τα σενάρια 5 και 3, κάτι που δεν γινόταν στα προηγούμενα διαγράμματα. Τέλος το ύψος της απόκλισης είναι χαμηλότερο από το μέσο όρο του παγίου κόστους στα αντίστοιχα paths, ενώ το πάγιο κόστος είναι σαφώς πιο σταθερό σε σχέση με την κερδοφορία και τα έσοδα.



Σχήμα 7

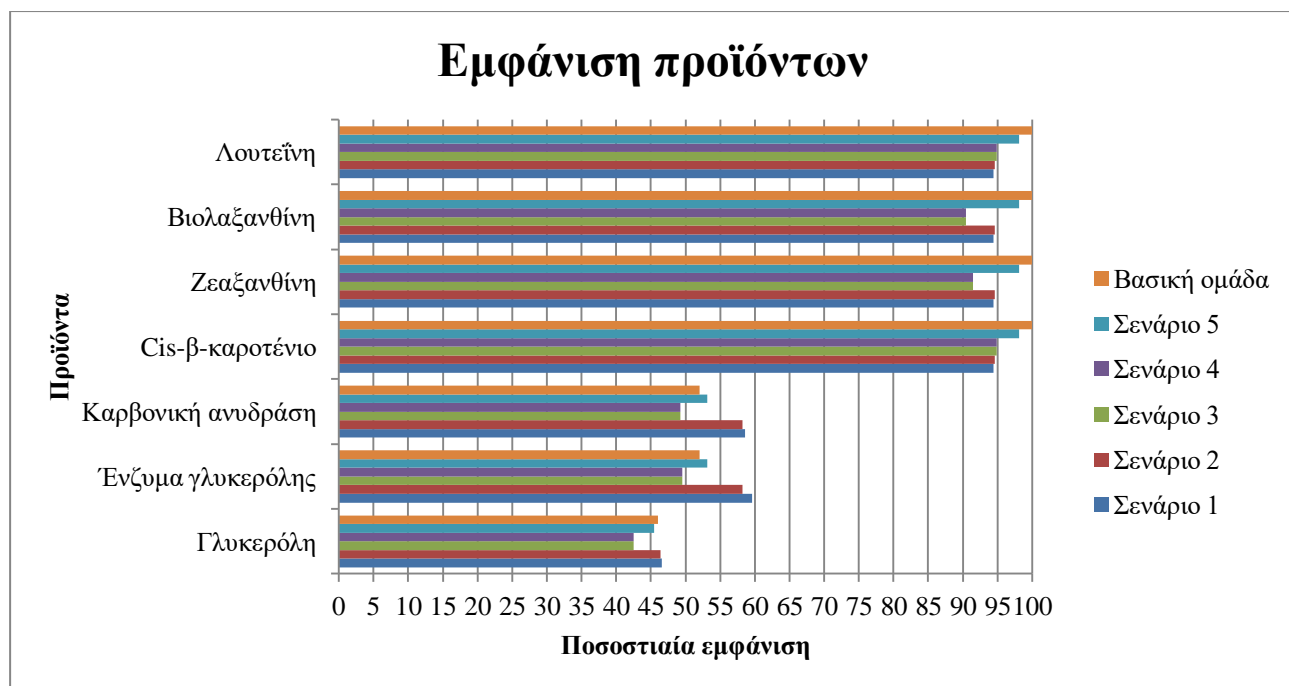


**Σχήμα 8**

Στο σχήμα 7 εμφανίζεται το κόστος λειτουργίας ανά έτος για όλα τα σενάρια και την βασική ομάδα. Το κόστος λειτουργίας των σεναρίων μεταξύ τους έχει μικρό εύρος αναλογικά με τα προηγούμενα μεγέθη που συζητήθηκαν. Το εύρος είναι οριακά στα 4 εκατομμύρια δολάρια ανά έτος. Κανένα σενάριο δεν αλλάζει τάξη μεγέθους και βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τα υπόλοιπα. Επίσης η βασική ομάδα έχει σαφώς μεγαλύτερες διακυμάνσεις σε σχέση με τα σενάρια. Βέβαια όπως φαίνεται τα σενάρια έχουν αρκετές διακυμάνσεις ανά path. Το σενάριο 4 που εμφανίζει υψηλή κερδοφορία και έσοδα, έχει όμοιο κόστος λειτουργίας με τα άλλα σενάρια. Στο path 79 και έπειτα παρατηρείται μια μικρή πτώση του κόστους λειτουργίας, παρά τις διακυμάνσεις. Άρα η πτώση που εμφανίζεται στην κερδοφορία δεν οφείλεται στο υψηλό λειτουργικό κόστος.

Όπως είναι μικρά τα εύρη του κόστους λειτουργίας για τα διάφορα σενάρια παρομοίως είναι μικρή η απόκλιση για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας (σχήμα 8). Μέχρι το path 45 η διακύμανση μπορεί να θεωρηθεί σταθερή μεταξύ 0,5-1 εκατομμυρίων δολαρίων ανά έτος. Στην συνέχεια η διακύμανση αυξομειώνεται εντονότερα. Κανένα σενάριο δεν ξεχωρίζει για την μέγιστη ή ελάχιστη τιμή του σε σχέση με τα υπόλοιπα.

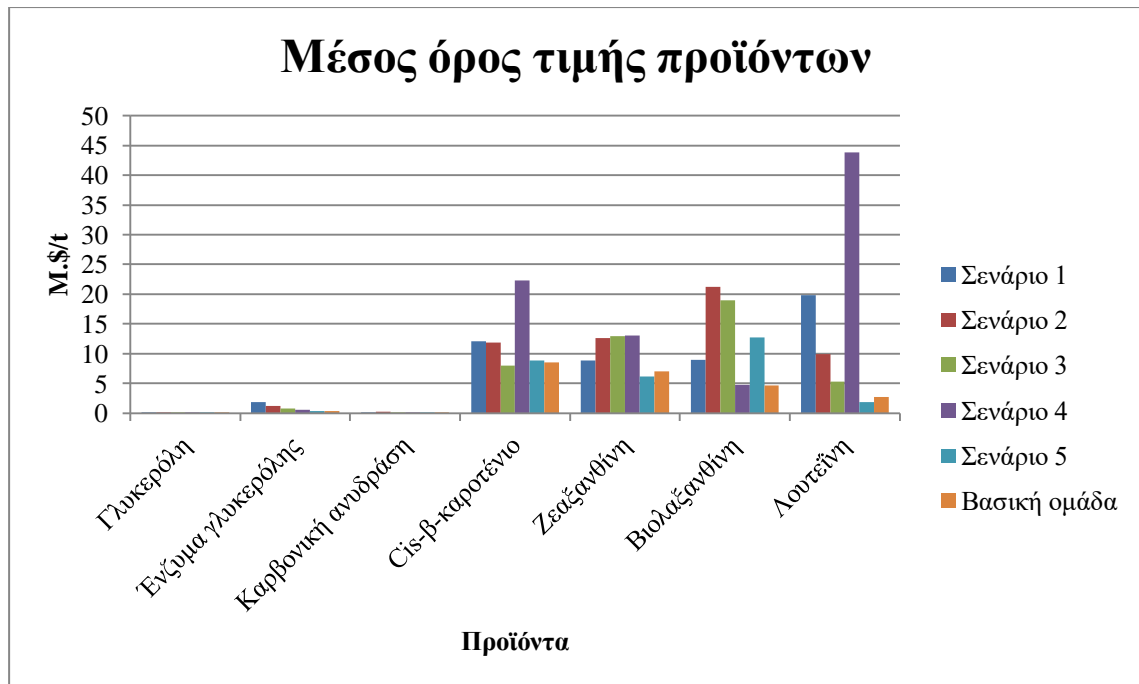




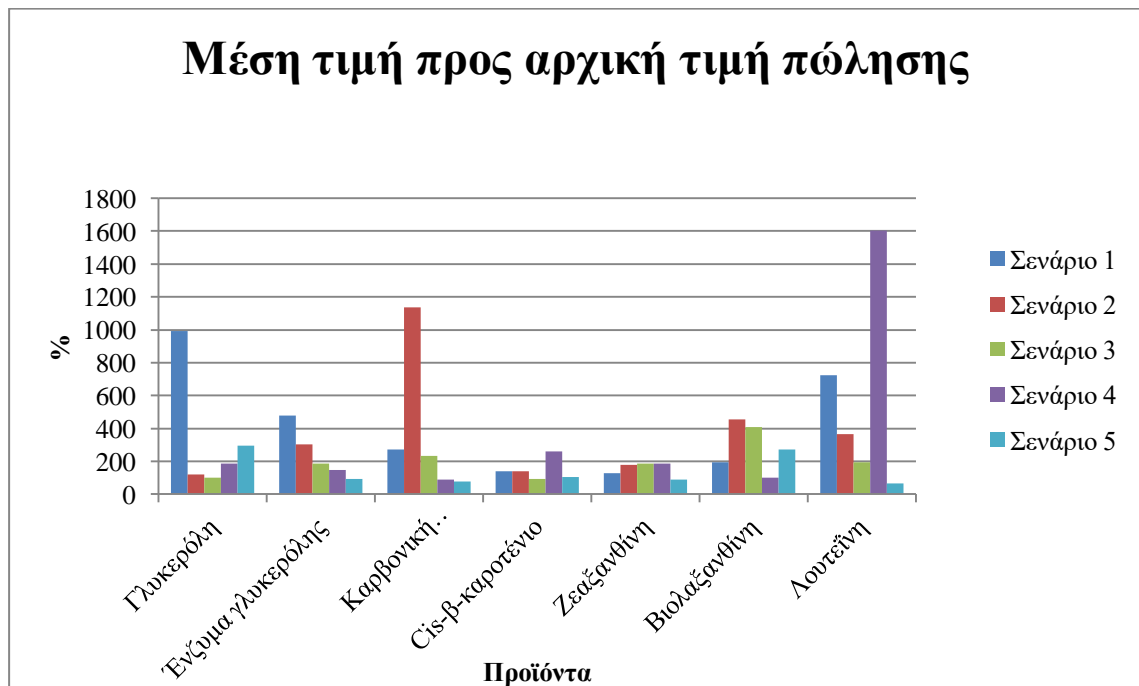
**Σχήμα 9**

Στο παραπάνω σχήμα (9) φαίνεται η ποσοστιαία εμφάνιση των προϊόντων για όλα τα paths. Τα προϊόντα με την μεγαλύτερη αξία έχουν την μεγαλύτερη εμφάνιση για κάθε σενάριο, έχοντας τουλάχιστον 90% ποσοστό εμφάνισης. Αντίθετα τα προϊόντα με την σαφώς μικρότερη αξίας περιορίζονται σε ένα εύρος 40-60% εμφάνισης. Είναι δηλαδή περιστασιακά ανάλογα με το path και δεν επηρεάζουν την κερδοφορία ισχυρά. Αυτό συμβαίνει για όλα τα σενάρια καθώς και για την βασική ομάδα.

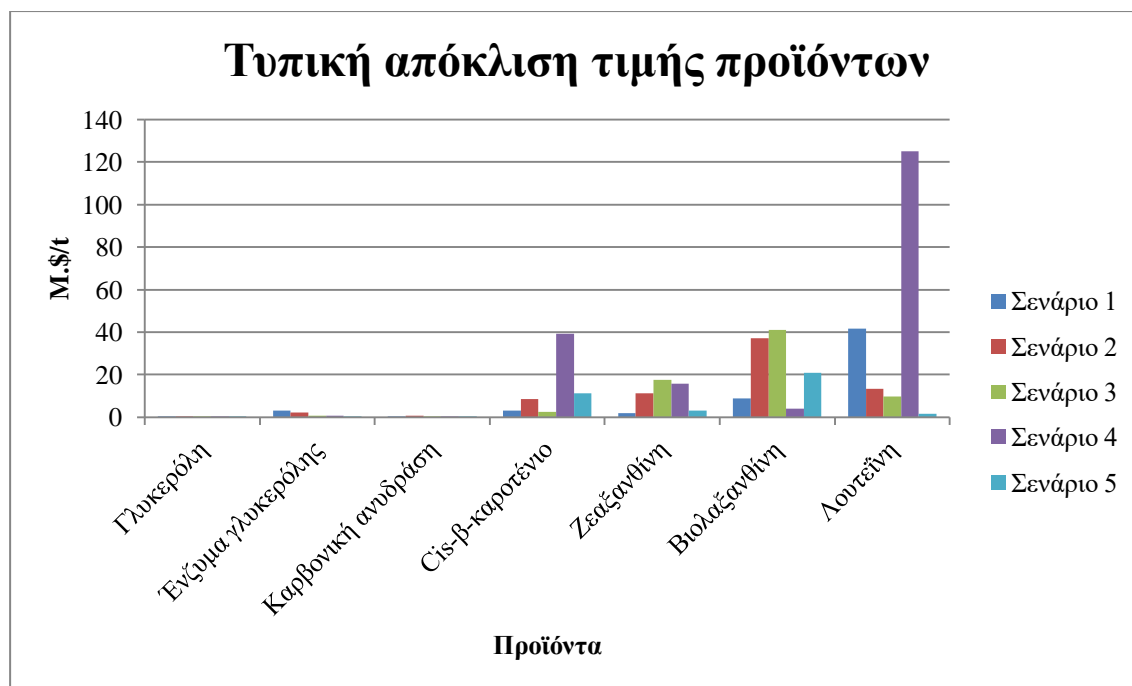
Η βασική ομάδα έχει 100% ποσοστό εμφάνισης για τα προϊόντα με υψηλή αξία, επιλέγοντας τα σε κάθε path. Αντίθετα ο συνδυασμός των προϊόντων υψηλής αξίας δεν οδηγεί σε 100% παραγωγής τους για κανένα σενάριο. Το σενάριο 5 έχει την μικρότερη κερδοφορία και ταυτόχρονα τα υψηλότερα ποσοστά εμφάνισης των τεσσάρων προϊόντων μεγαλύτερης αξίας. Άρα η εμφάνιση τους στο 100% ή η εμφάνιση τους άνω του 90% δεν οδηγεί αναγκαστικά σε αύξηση της κερδοφορίας. Η εναλλαγή του εύρους των τιμών πώλησης δεν επηρέασε καθοριστικά τα ποσοστά εμφάνισης. Συνεπώς η βάση του βιοδιυλιστηρίου θα είναι τα τέσσερα προϊόντα μεγαλύτερης αξίας και περιστασιακά τα 3 προϊόντα μικρότερης αξίας για την ομάδα αυτή.



Σχήμα 10



Σχήμα 11



**Σχήμα 12**

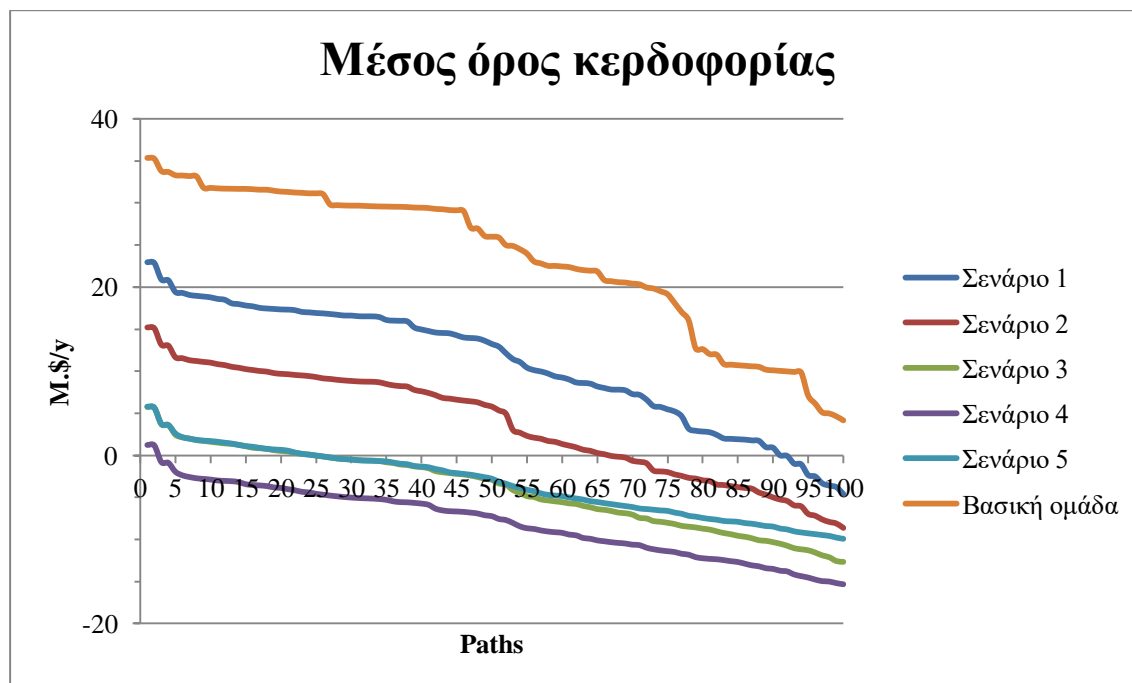
Στο σχήμα 10 εμφανίζεται ο μέσος όρος της τιμής των προϊόντων. Όπως φαίνεται η γλυκερόλη, τα ένζυμα γλυκερόλης και η καρβονική ανυδράση έχουν πολύ χαμηλή τιμή σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα. Πρακτικά δεν επηρεάζουν την κερδοφορία επειδή η τιμή τους είναι τάξης μεγέθους μικρότερη σε σύγκριση με τα άλλα προϊόντα. Αυτό άλλωστε φάνηκε και στο διάγραμμα της εμφάνισης των προϊόντων, όπου εμφανίζονται περιστασιακά. Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι το cis-β-καροτένιο και η λουτεΐνη εμφανίζουν μέγιστο στο σενάριο 4 οδηγώντας το σενάριο στα μεγαλύτερα έσοδα και κερδοφορία. Ταυτόχρονα το οδήγησαν στην υψηλότερη και ιδιαίτερα μεγάλη τυπική απόκλιση σε αυτά τα δύο οικονομικά μεγέθη. Αυτό παρότι η βιολαξανθίνη είχε ελάχιστο για το σενάριο της ομάδος και η ζεαξανθίνη ήταν στο ίδιο επίπεδο για τα σενάρια 2 και 3. Τα σενάρια 1 και 2 που εμφάνισαν μεγάλη συγγένεια στην κερδοφορία και τα έσοδα έχουν κοντινές τιμές στην ζεαξανθίνη και το cis-β-καροτένιο. Η τιμή της λουτεΐνης για το σενάριο 1 είναι κοντά με την τιμή της βιολαξανθίνης για το σενάριο 2. Το ίδιο συμβαίνει για την βιολαξανθίνη του σεναρίου 1 σε σχέση με την λουτεΐνη του σεναρίου 2. Από αυτό μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι ο λόγος των μεγάλων τυπικών αποκλίσεων του σεναρίου 2 σε σχέση με το 1 στα έσοδα και τα κέρδη οφείλεται στην αστάθεια που προκάλεσε η βιολαξανθίνη σε σχέση με την λουτεΐνη. Το σενάριο 5 είχε την χαμηλότερη κερδοφορία και αυτό φαίνεται από τις χαμηλές τιμές που εμφάνισαν όλα του τα

προϊόντα, με σημαντικό παράγοντα την ιδιαίτερα χαμηλή τιμή της λουτεΐνης και του cis-β-καροτένιου.

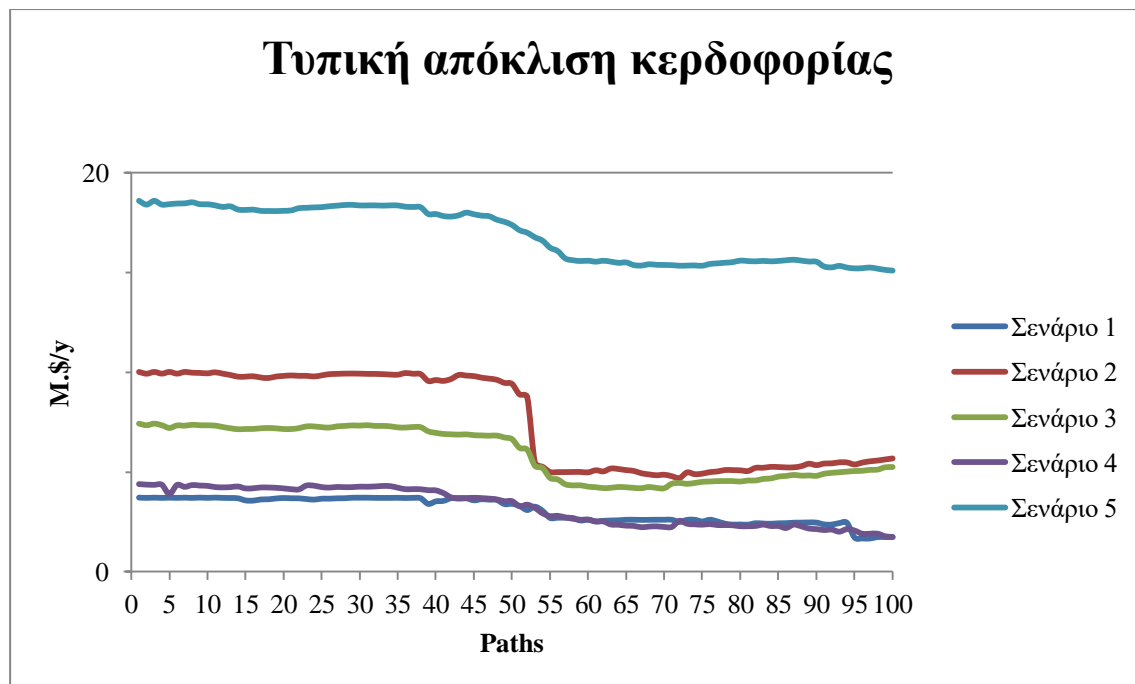
Στο σχήμα 11 παρατηρείται το ποσοστό των μέσων όρων των τιμών των σεναρίων ως προς την αρχική τιμή. Παρά τον διαφορετικό παράγοντα τοποθεσίας των σεναρίων υπήρξαν ανακατατάξεις στην αναμενόμενη μέση τιμή των προϊόντων από τις κατανομές. Το κεφάλαιο 4 εμφάνισε την υψηλότερη αύξηση στην λουτεΐνη και το cis-β-καροτένιο, ενώ η ζεαξανθίνη του ήταν στο ίδιο επίπεδο με τα σενάρια 2 και 3.

Στο σχήμα 12 μπορεί να φανεί ότι τα σενάρια 2 και 4 που εμφάνισαν μεγάλη τυπική απόκλιση στα διαγράμματα κέρδους και εσόδων εμφανίζουν και ανάλογη τυπική απόκλιση στα τέσσερα προϊόντα υψηλότερης αξίας. Επιπρόσθετα το σενάριο 1 που ήταν σταθερότερο εμφάνισε αντίστοιχα μικρότερη. Το σενάριο 5 που επηρεάζεται πρώτα από όλα από την υψηλότερη σε σχέση με τα άλλα προϊόντα τιμή της βιολαξανθίνης εμφανίζει την δεύτερη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση ελέω της τυπικής απόκλισης της βιολαξανθίνης. Συνεπώς όταν τα προϊόντα αυξάνουν ή μειώνουν την τιμή τους μακριά από την αρχική τους τιμή αυτό επηρεάζει και την απόκλιση στα διαγράμματα κέρδους και εσόδων ακόμα και εάν πρόκειται μόνο για ένα προϊόν.

## 6.2. Διαγράμματα τροφίμων

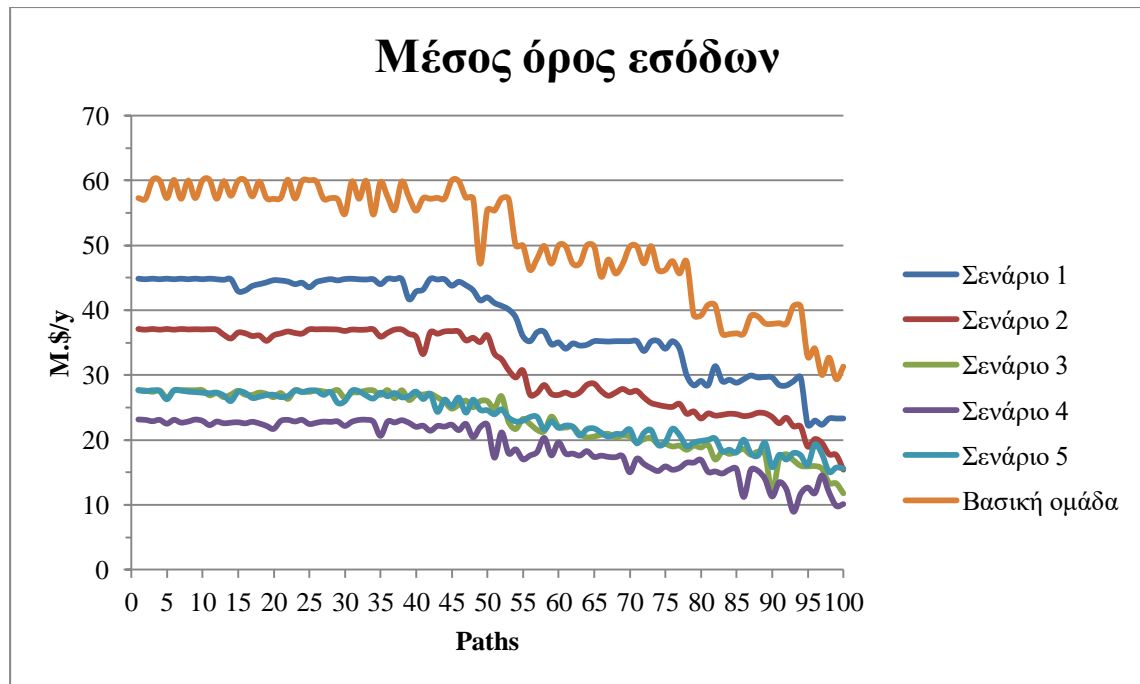


Σχήμα 13

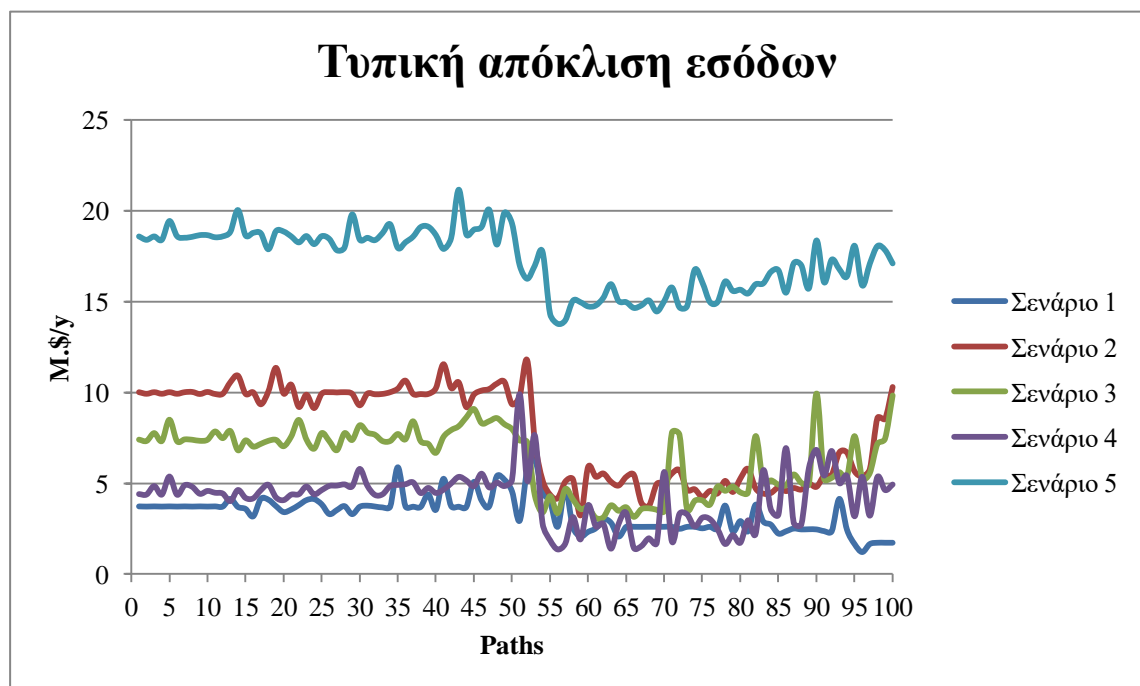


**Σχήμα 14**

Στα σχήματα 13 και 14 φαίνεται ο μέσος όρος των τιμών των διάφορων σεναρίων και η τυπική απόκλιση των τιμών αντίστοιχα. Όλα τα σεσάρια εμφανίζουν ζημία μετά από ένα ορισμένο path. Αντίθετα η βασική ομάδα είναι κερδοφόρα για όλα τα paths. Τα σεσάρια 1 και 2 είναι τα πλέον κερδοφόρα με το σεσάριο 2 να εμφανίζει την δεύτερη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση. Το σεσάριο 3 μαζί με το σεσάριο 5 κινούνται μαζί μέχρι το path 50 και ύστερα το σεσάριο 3 αρχίζει να μειώνεται ταχύτερα. Το σεσάριο 5 έχει την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση που είναι πολλαπλάσια του μέσου όρου των τιμών. Οι καμπύλες της κερδοφορίας είναι γραμμικές χωρίς έντονες διακυμάνσεις. Σαφώς έντονη διακύμανση εμφανίζουν η καμπύλες της τυπικής απόκλισης για τα σεσάρια 1, 2 και 3 στο μέσο των paths. Τέλος η βασική ομάδα είναι λιγότερο γραμμική από τα σεσάρια και έχει πιο έντονες διακυμάνσεις.



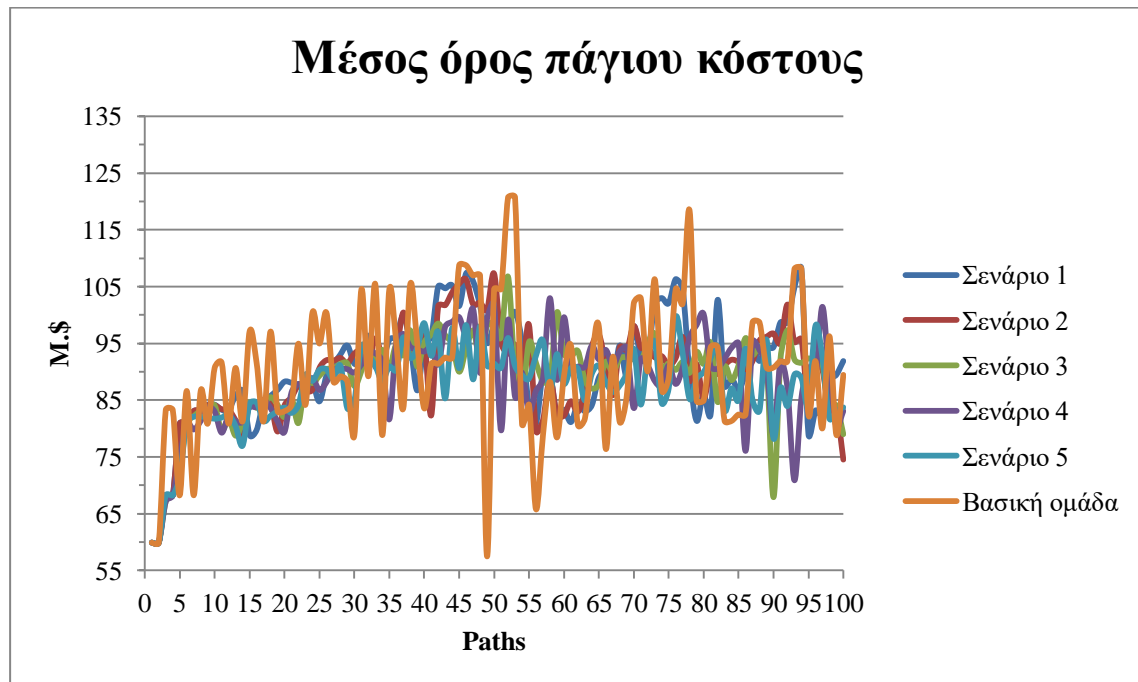
Σχήμα 15



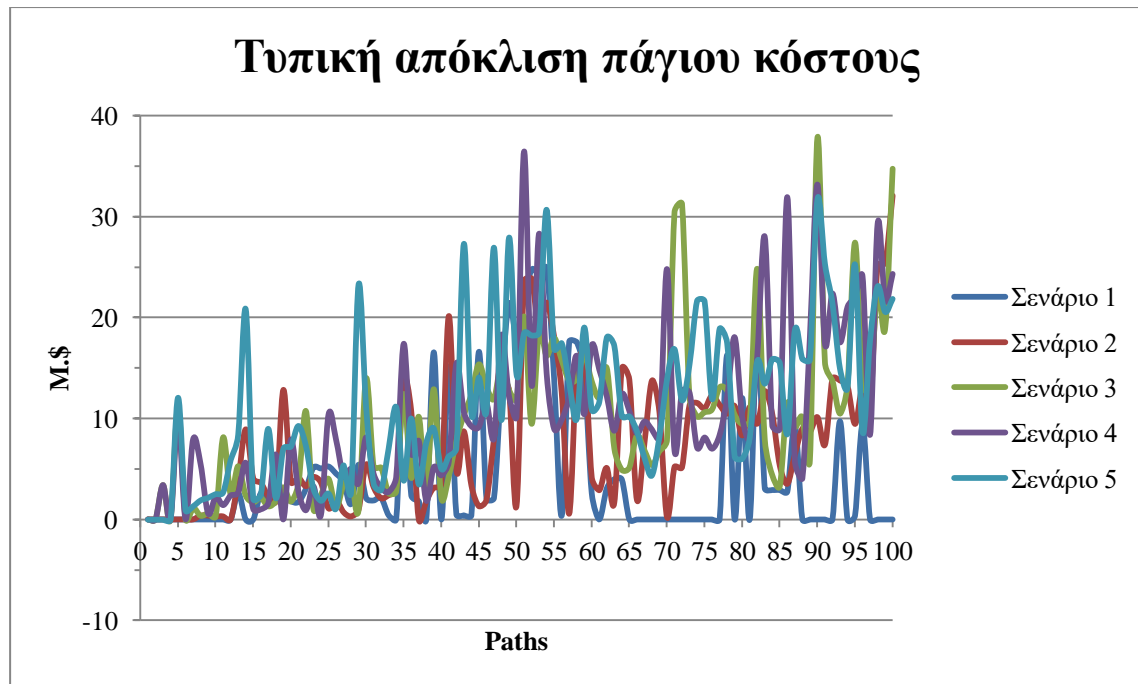
Σχήμα 16

Τα σχήματα 15 και 16 απεικονίζουν των μέσο όρο των εσόδων και την τυπική απόκλιση των εσόδων. Όπως διακρίνεται η βασική ομάδα εμφανίζει μεγαλύτερα έσοδα για όλα τα σενάρια. Ακόμα έχει τις περισσότερες και πιο έντονες διακυμάνσεις. Η σειρά των εσόδων είναι ίδια με την σειρά της κερδοφορίας. Αυτή την φορά τα σενάρια 3 και 5 δεν «χωρίζονται» μεταξύ τους μετά το path 50. Το σενάριο 4 με εξαίρεση 2 paths στο τέλος έχει πάντα μικρότερα έσοδα.

Η τυπική απόκλιση των εσόδων είναι μεγαλύτερη για το σενάριο 5, παρόλο που το σενάριο αυτό δεν έχει την μεγαλύτερη αξία εσόδων. Η τυπική απόκλιση των υπόλοιπων σεναρίων συγκλίνει μεταξύ του path 50 με 90 ενώ στην συνέχεια συμβαίνει το ανάποδο. Αξιοσημείωτο είναι ότι το σενάριο 3 που έχει σχεδόν όμοια έσοδα με το κεφάλαιο 5 έχει σχεδόν την μίση τυπική απόκλιση. Η πτώση που εμφανίζεται στα έσοδα την μέση του διαγράμματος γίνεται εντονότερη στην τυπική απόκλιση των εσόδων.



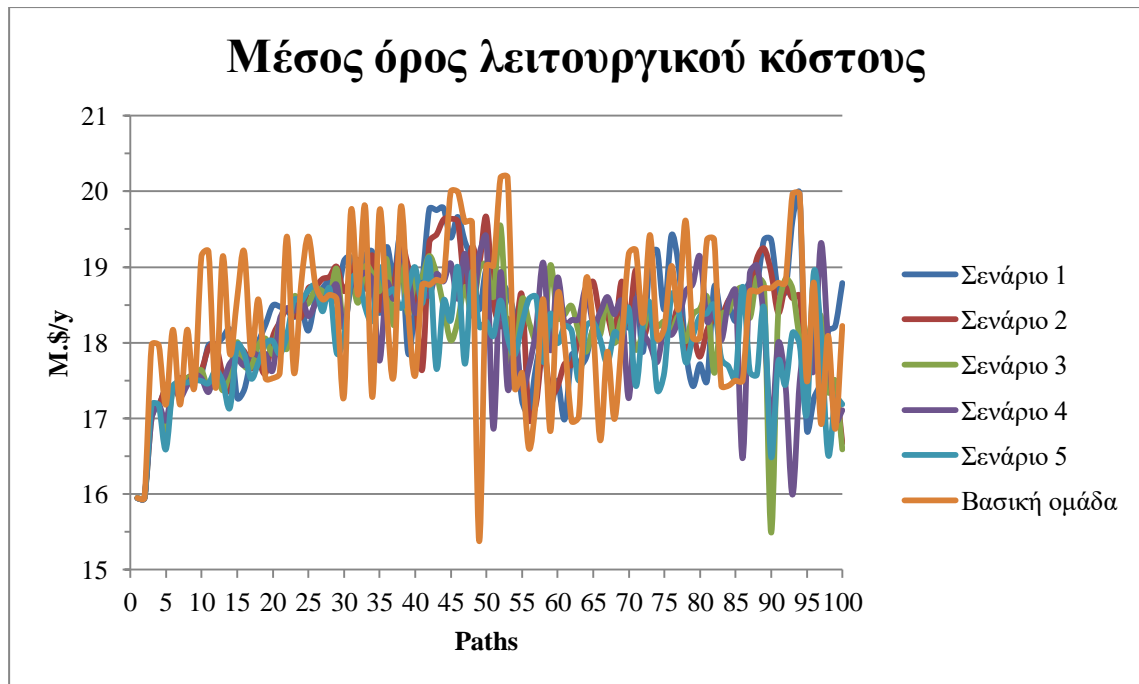
Σχήμα 17



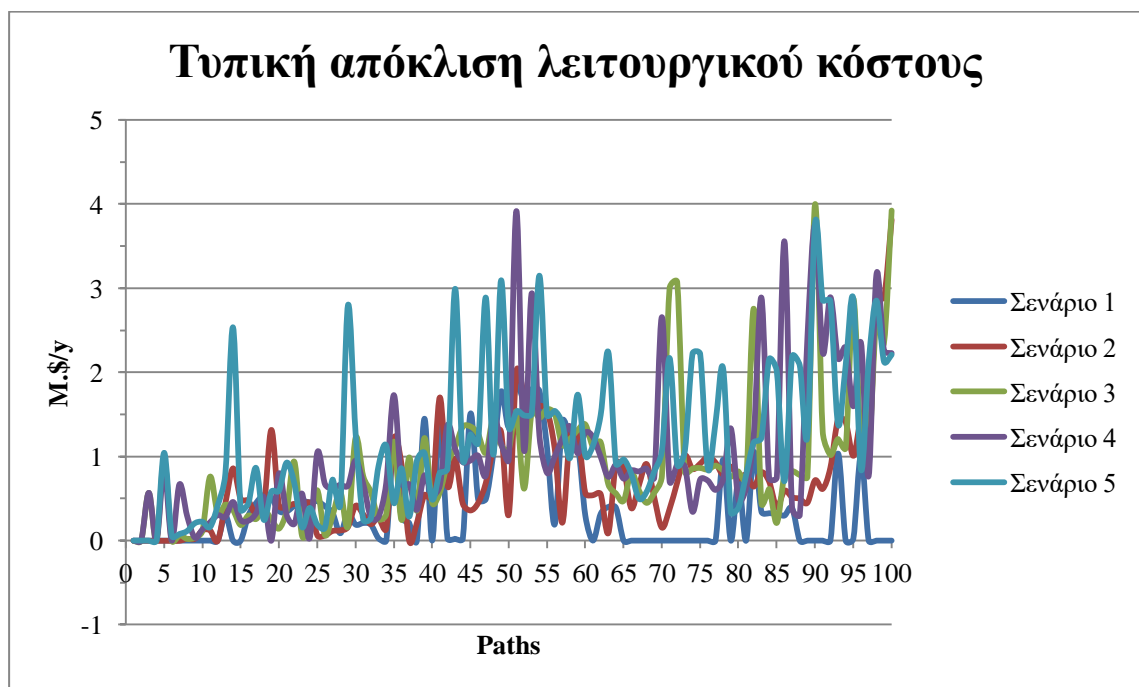
**Σχήμα 18**

Τα σχήματα 17 και 18 απεικονίζουν τον μέσο όρο του πάγιου κόστους και την τυπική απόκλιση του. Οι καμπύλες δεν είναι γραμμικές έχοντας συνεχόμενες και έντονες διακυμάνσεις. Η καμπύλη της βασικής ομάδας έχει το μεγαλύτερο μέγιστο, ελάχιστο καθώς και τις εντονότερες διακυμάνσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή παράγει όλα τα προϊόντα αντί για 7. Το πάγιο κόστος ξεκινάει στο ύψος των 55 εκ. δολαρίων για όλα τα σενάρια και αυξάνεται γρήγορα στα 90 εκ. Ταυτόχρονα στο ίδιο διάστημα η τυπική απόκλιση αυξάνεται. Συνεπώς τα πρώτα paths είναι τα πλέον βέλτιστα καθώς εμφανίζουν το χαμηλότερο κόστος μαζί με την χαμηλότερη απόκλιση, που τα καθιστά σταθερότερα, δίδοντας την καλύτερη πρόβλεψη.





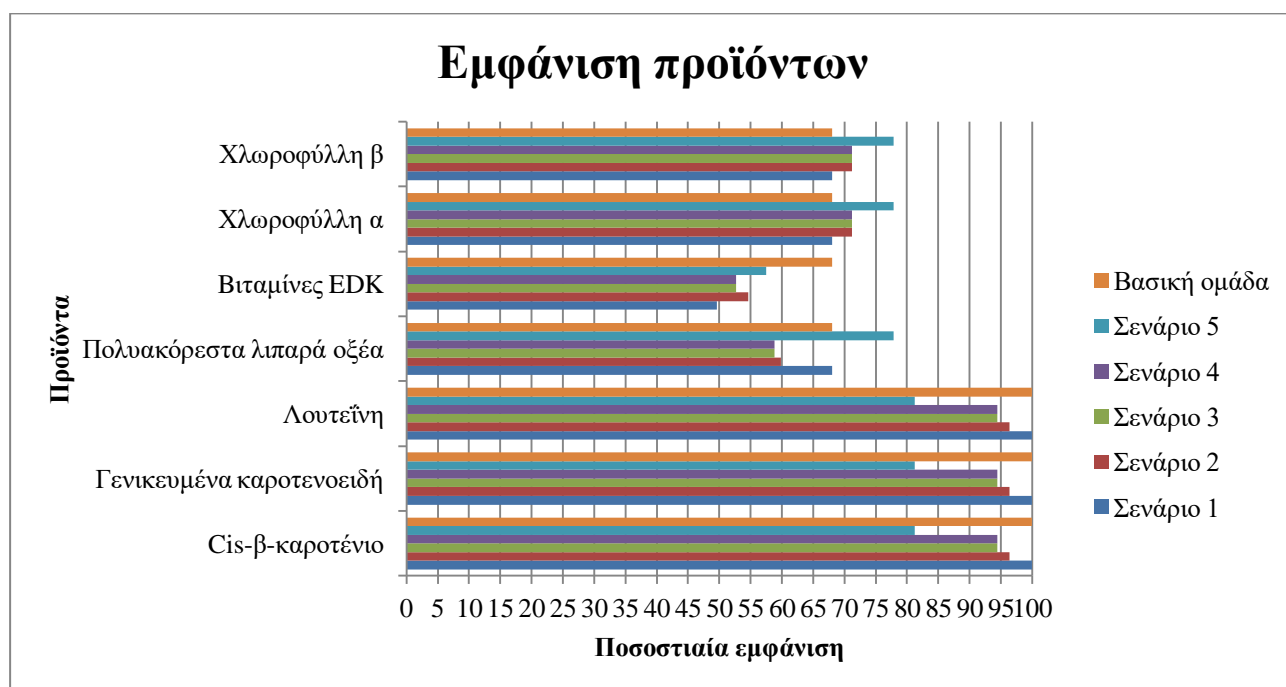
Σχήμα 19



Σχήμα 20

Οι καμπύλες του μέσου όρου του λειτουργικού κόστους και της τυπικής τους απόκλισης φαίνονται στα σχήματα 19 και 20. Η καμπύλη λειτουργικού κόστους της βασικής ομάδας είναι όπως αναμενόταν η πιο έντονη με το μεγαλύτερο μέγιστο και ελάχιστο. Αυτό επειδή όπως στην περίπτωση του πάγιου κόστους η ομάδα των τροφίμων παράγει μόνο 7 προϊόντα, ενώ η βασική ομάδα όλα. Το λειτουργικό κόστος ως επί το πλείστον κυμαίνεται μεταξύ των 16 με 18,5 εκ. δολαρίων ανά έτος. Σε

συνδυασμό με την χαμηλή χωρίς έντονες διακυμάνσεις τυπική απόκλιση στα πρώτα 40 paths μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής εκτίμηση αυτό το ύψους εύρος ανεξάρτητος συνδυασμού ή τιμής των προϊόντων για τα πρώτα 40 paths.



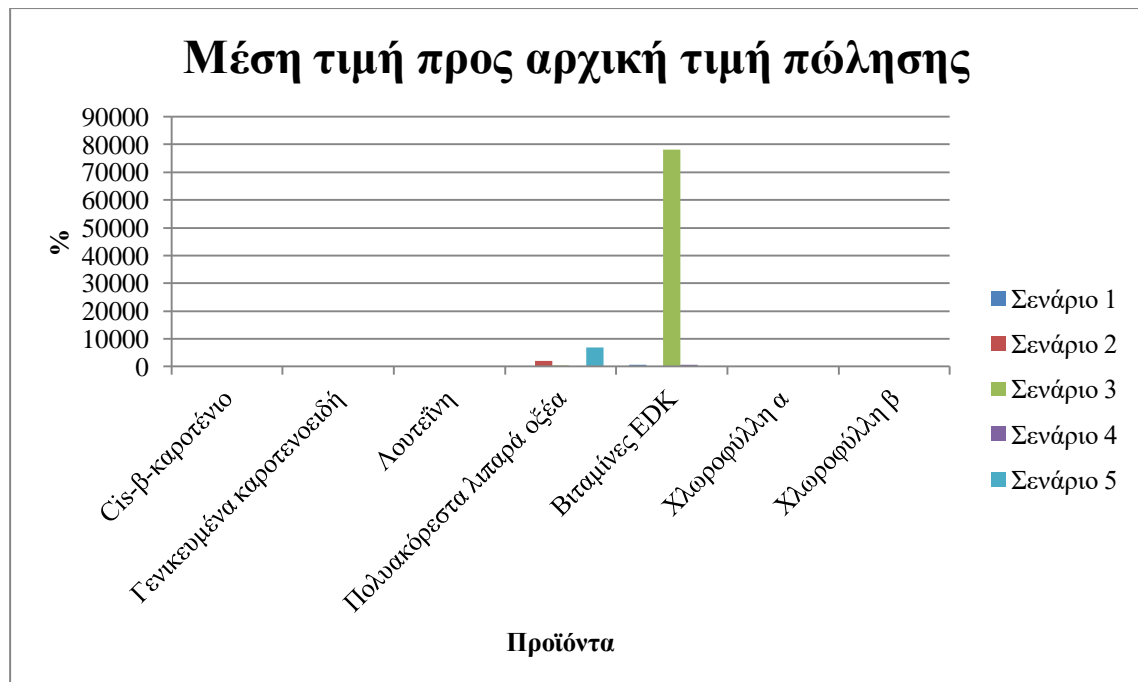
**Σχήμα 21**

Στο σχήμα 21 εμφανίζεται το ποσοστό παραγωγής των διάφορων προϊόντων που παράγονται στο βιοδιυλιστήριο για τα διάφορα σενάρια της ομάδας και για την βασική ομάδα. Τα καροτενοειδή παράγονται στο 100% μόνο για το σενάριο 1 και την βασική ομάδα. Είναι εντυπωσιακό ότι στο σενάριο 5 όλα τα προϊόντα παράγονται μεταξύ 75-85% πλην των βιταμινών που παράγονται στο 57,5%. Επίσης το σενάριο αυτό παράγει χλωροφύλλες σε υψηλότερο ποσοστό από όλα τα σενάρια και την βασική ομάδα. Κατά αυτόν τον τρόπο το σενάριο 5 είναι το πλέον ισορροπημένο ως προς την εμφάνιση προϊόντων. Αυτή η ισορροπία στην εμφάνιση παραγωγής δεν το οδήγησε σε μικρή τυπική απόκλιση εσόδων και κερδών. Αντίθετα είχε την μεγαλύτερη, ενώ ταυτόχρονα είχε αρκετή απόκλιση στο λειτουργικό και πάγιο κόστος αναλογικά με τα άλλα. Τα υπόλοιπα σενάρια κινήθηκαν όπως προβλεπόταν με τα καροτενοειδή να παράγονται σε ποσοστό άνω του 94% εξαιτίας της υψηλής τιμής τους και της κοινής διεργασίας που τα παράγει. Ακόμα οι χλωροφύλλες και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα εμφανίστηκαν περισσότερο από τις βιταμίνες. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα ενώ έχουν χαμηλότερη τιμή από τις χλωροφύλλες και στο ίδιο επίπεδο με τις βιταμίνες μπορούν να παράγονται το ίδιο με τις χλωροφύλλες

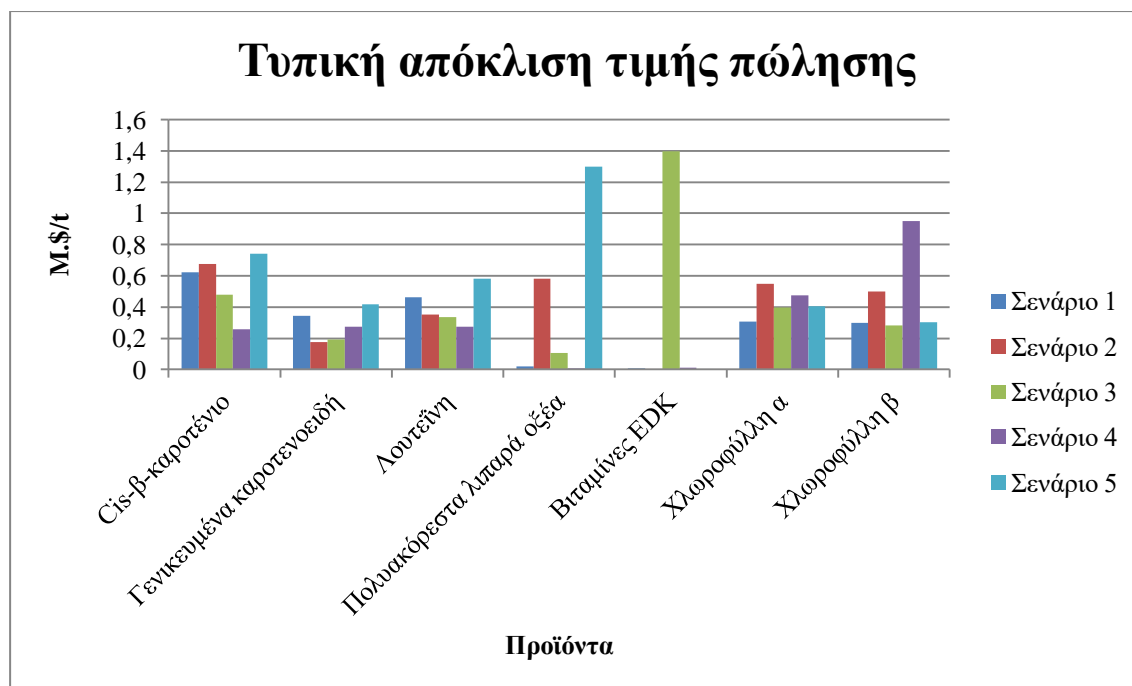
όπως στα σενάρια 1 και 5. Υπάρχει η τάση τα καροτενοειδή να εμφανίζονται πάντα σε κοντινά μεταξύ τους ποσοστά και το ίδιο συμβαίνει με τις χλωροφύλλες.



Σχήμα 22



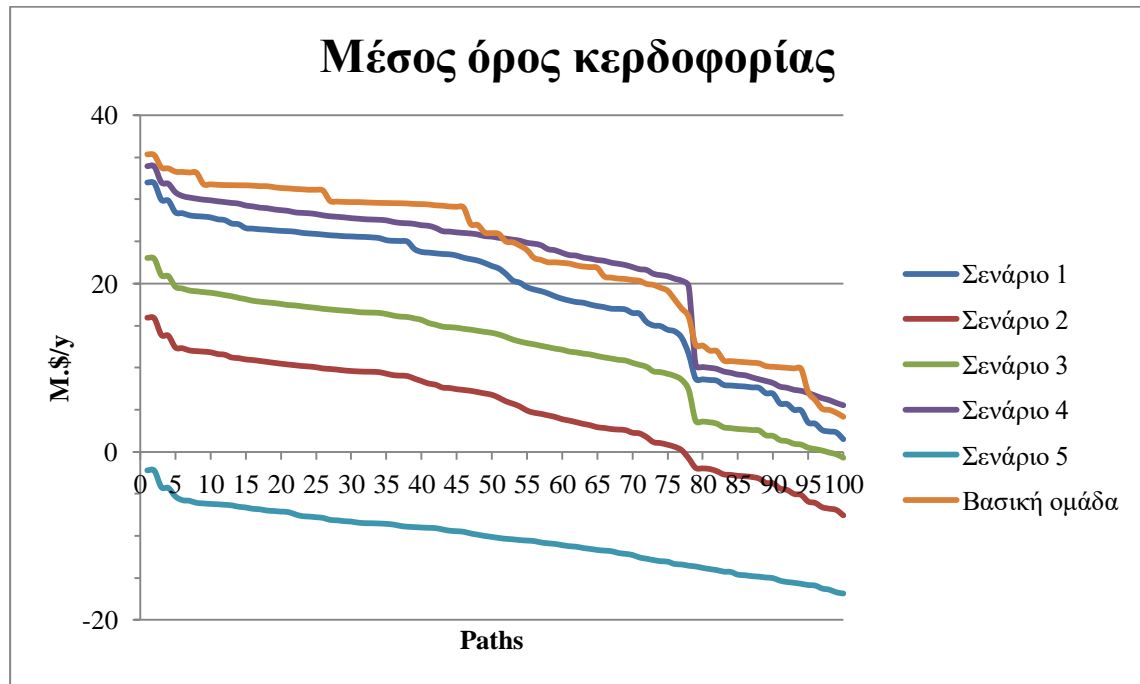
Σχήμα 23



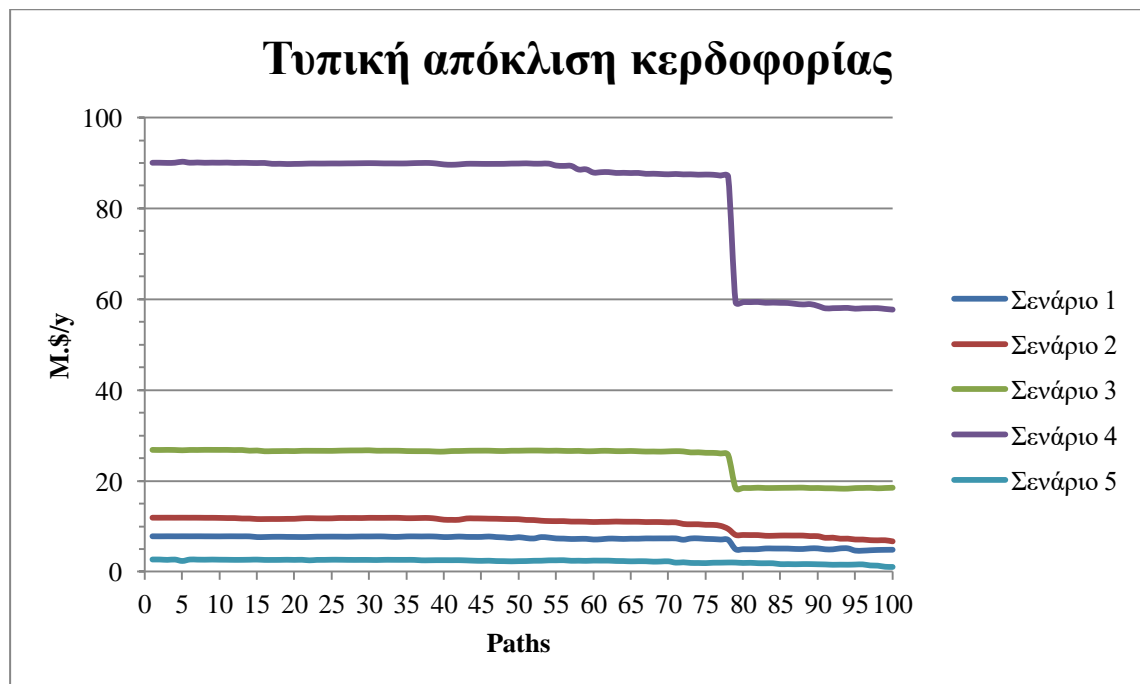
**Σχήμα 24**

Στα σχήματα 22, 23 και 24 διακρίνεται η τιμή των προϊόντων, η σχέση της ως προς την αρχική τιμή και η διακύμανση της. Είναι εμφανές ότι τα προϊόντα με την μεγαλύτερη τιμή παράγονται περισσότερο και καθορίζουν την κερδοφορία. Παρόλα αυτά τα γενικευμένα καροτενοειδή παράγονται στο ίδιο ποσοστό με τα υπόλοιπα καροτενοειδή και περισσότερο από τις χλωροφύλλες ενώ έχουν την μικρότερη τιμή σε σχέση με τα αναφερθέντα προϊόντα. Οι βιταμίνες παρά την τεράστια αύξηση της τιμής τους στο σενάριο 3 παράχθηκαν λιγότερο από ότι στο σενάριο 4 ενώ εμφανίζουν ένα «σκληρό» όριο που αρχίζει στο 55% για όλα τα σενάρια. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα δεν επηρεάζουν σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα και εμφανίζονται περιστασιακά σαν ένα συμπλήρωμα τους κέρδους. Το cis-β-καροτένιο και η λουτεΐνη επηρεάζουν περισσότερο την κερδοφορία και τα έσοδα ελέω της υψηλής αξίας τους. Η κερδοφορία και τα έσοδα ακολουθούν την σειρά μείωσης της τιμής των δύο προϊόντων στα σενάρια με εξαίρεση το σενάριο 5. Η διακύμανση της τιμής του cis-β-καροτένιου (του προϊόντος με την μεγαλύτερη τιμή πώλησης) δεν οδήγησε σε αύξηση της διακύμανσης των οικονομικών διαγραμμάτων.

### 6.3. Διαγράμματα καλλυντικών



Σχήμα 25

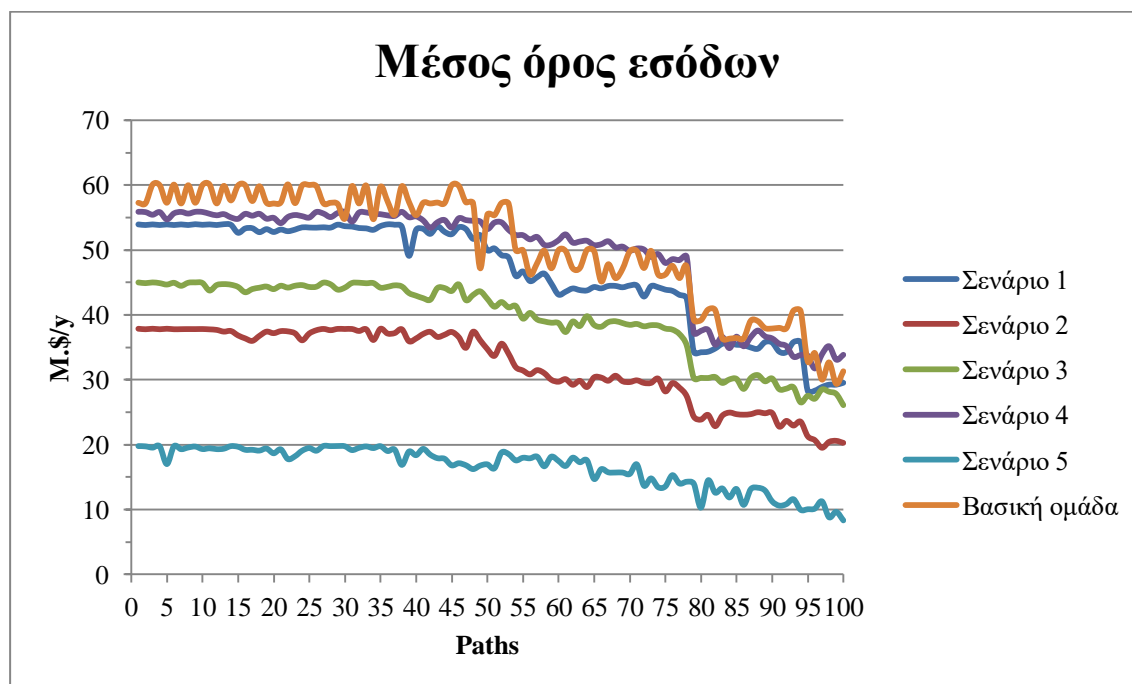


Σχήμα 26

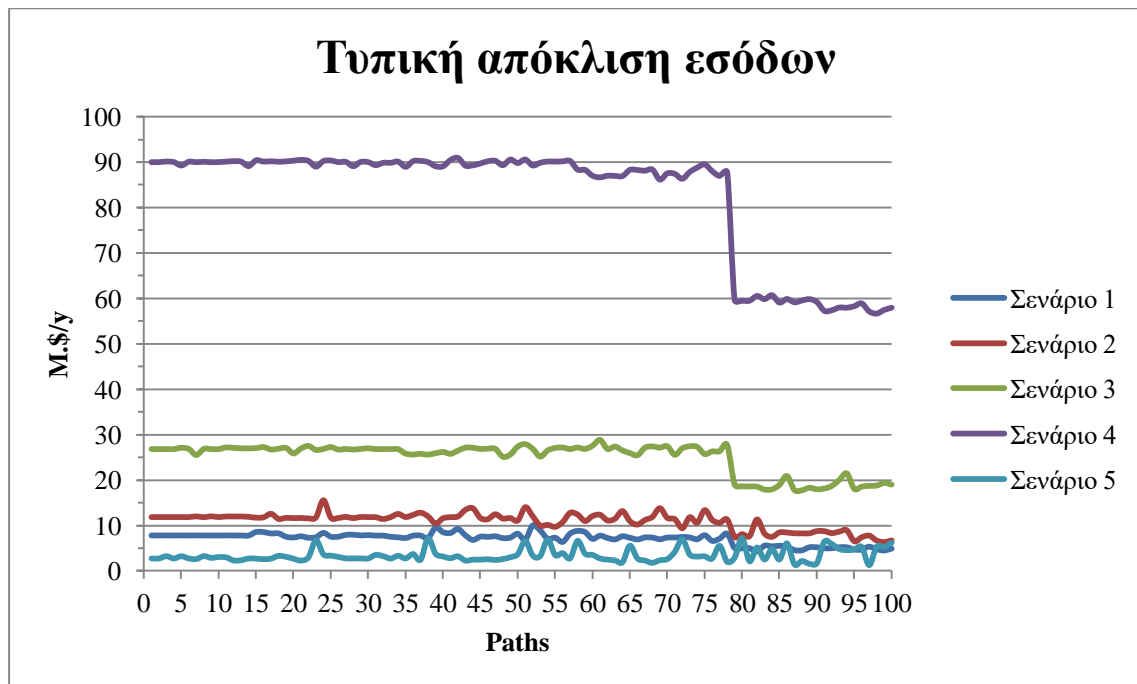
Στα σχήματα 25 και 26 απεικονίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των σεναρίων. Η βασική ομάδα είναι η πλέον κερδοφόρα αλλά εξαιτίας της φθίνουσας κλίσης της ξεπερνιέται σε ορισμένα σημεία από το σενάριο 4 που είναι το πλέον κερδοφόρο σενάριο. Το σενάριο 5 είναι ζημιογόνο για όλα τα paths. Αυτό σε

συνδυασμό με την πολύ μικρή τυπική του απόκλιση το καθιστά σταθερά κοντά στην τιμή πώλησης από τον παράγοντα τοποθεσίας. Το σενάριο 1 είναι το δεύτερο πιο κερδοφόρο σενάριο, έχοντας μικρή τυπική απόκλιση. Το σενάριο 3 ακολουθεί το σενάριο 1 σε κερδοφορία αλλά έχει μεγαλύτερη τυπική απόκλιση από το σενάριο 1. Με εξαίρεση τα τελευταία paths είναι πάντα κερδοφόρο. Το σενάριο 2 είναι κερδοφόρο μέχρι το path 78. Στην συνέχεια είναι σταθερά ζημιολόγο.

Όπως διακρίνεται στα δύο διαγράμματα με εξαίρεση το σενάριο 5 η κερδοφορία καθώς επίσης και η τυπική απόκλιση της μειώνονται απότομα στο path 79, ενώ σε όλα τα υπόλοιπα σημεία οι καμπύλες είναι ομαλές. Αυτή η τάση υπάρχει στην βασική ομάδα αλλά με την επιλογή της ομάδας προϊόντων των καλλυντικών μεγιστοποιείται. Αυτή η μείωση δεν οφείλεται στην απότομη διακοπή παραγωγής ενός ή περισσότερων προϊόντων.

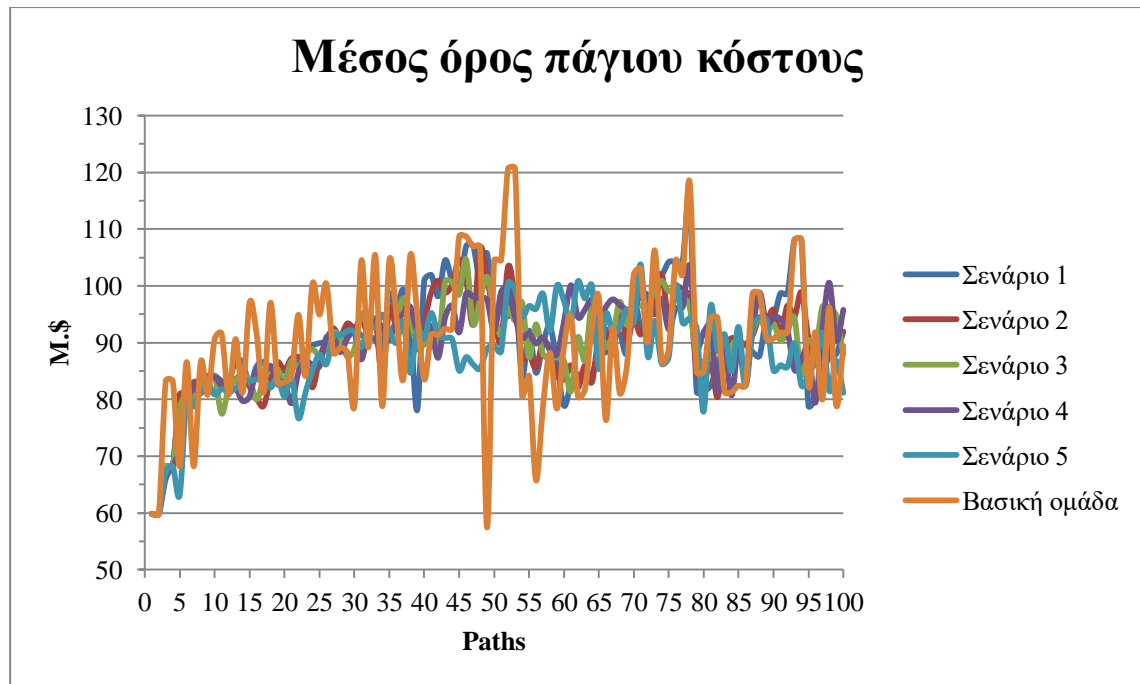


Σχήμα 27

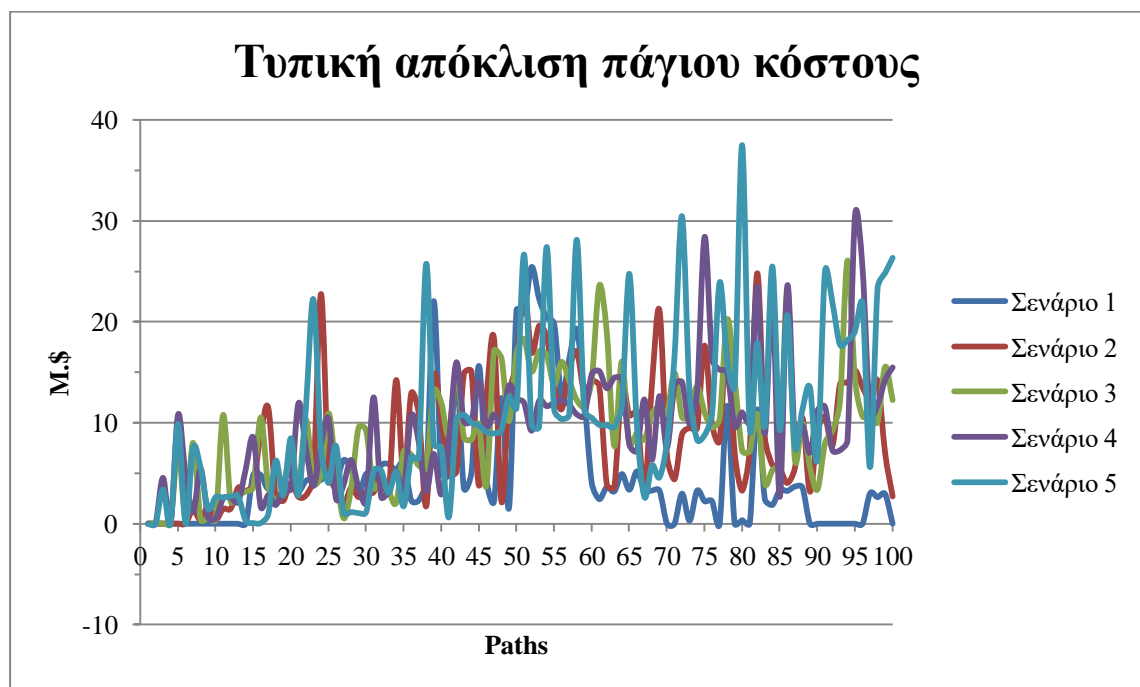


**Σχήμα 28**

Στα σχήματα 27 και 28 παρουσιάζονται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των εσόδων. Το σενάριο 5 έχει τα λιγότερα έσοδα. Παρά τα έσοδα του που αγγίζουν τα 20 εκ. δολάρια ανά έτος ήταν ζημιογόνο σε όλα τα paths της κερδοφορίας. Η σειρά των σεναρίων ακολουθεί την σειρά που είχαν στα διαγράμματα κερδοφορίας. Η ουσιαστική ποιοτική διαφορά τους εγγυείται στο ότι τα έσοδα δεν έχουν ομαλότητα και εμφανίζουν πλήθος διακυμάνσεων. Φυσικά η πτώση που εμφανίστηκε στην κερδοφορία στο path 79 εμφανίζεται και εδώ αναλογικά με εξαίρεση το σενάριο 5.



Σχήμα 29

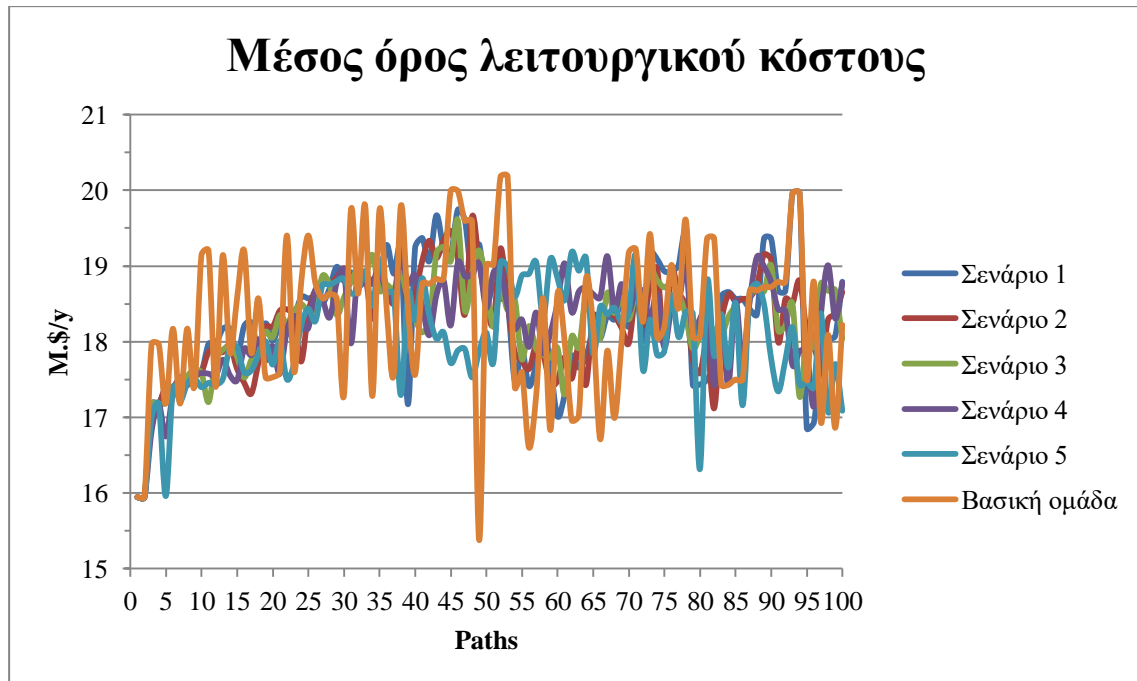


Σχήμα 30

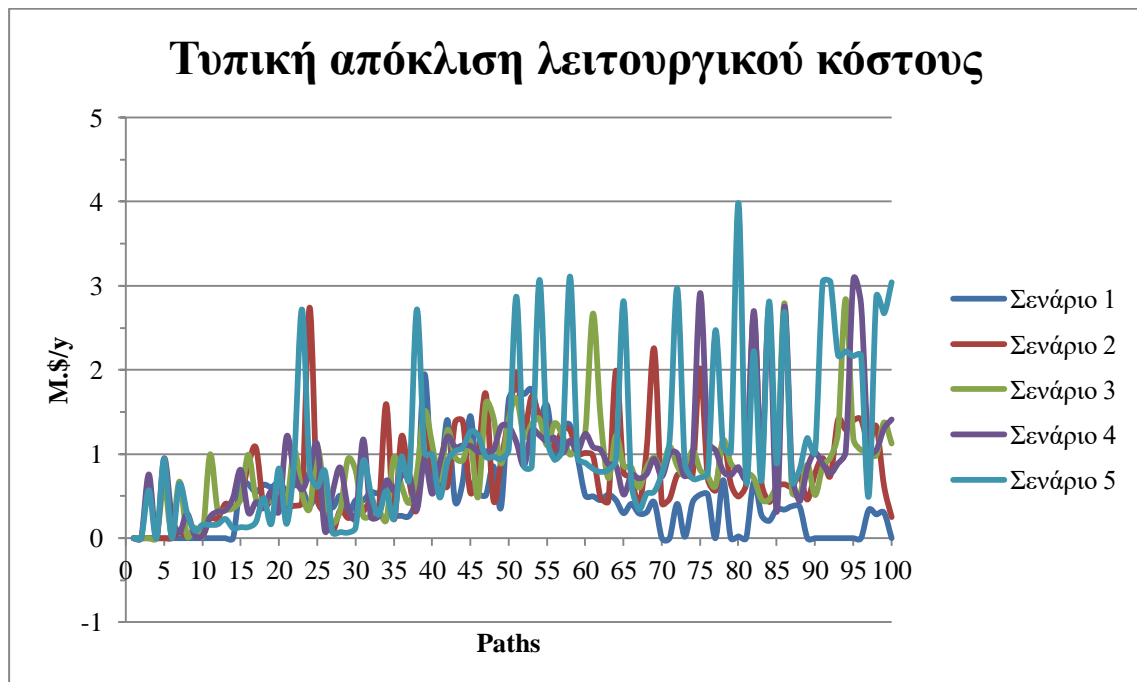
Στα σχήματα 29 και 30 διακρίνονται ο μέσος όρος στα πάγια κόστη για τα διάφορα σενάρια και η τυπική απόκλιση τους. Η βασική ομάδα εμφανίζει εντονότερες διακυμάνσεις και μεγαλύτερο μέγιστο και ελάχιστο. Αυτό συμβαίνει επειδή χρησιμοποιεί όλα τα προϊόντα και όχι έναν συνδυασμό τους. Οι καμπύλες είναι μη ομαλές με έντονες διακυμάνσεις. Τα σενάρια βρίσκονται κοντά μεταξύ τους ως προς το πάγιο κόστος. Ξεκινούν από τα 60 εκ. δολάρια και γρήγορα η τιμή τους αυξάνεται.



Αφού αυξηθούν οι τιμές τους κυμαίνονται στο εύρος μεταξύ 80-100 εκ. δολαρίων. Η τυπική απόκλιση των σεναρίων είναι χαμηλή και αυξάνεται σταδιακά. Εξαιρέση αποτελεί το σενάριο 1 που η τυπική του απόκλιση μειώνεται αισθητά στα τελευταία 30 paths. Το σενάριο 5 που είναι πάντα ζημιογόνο εμφανίζει την μεγαλύτερη διακύμανση τυπικής απόκλισης.

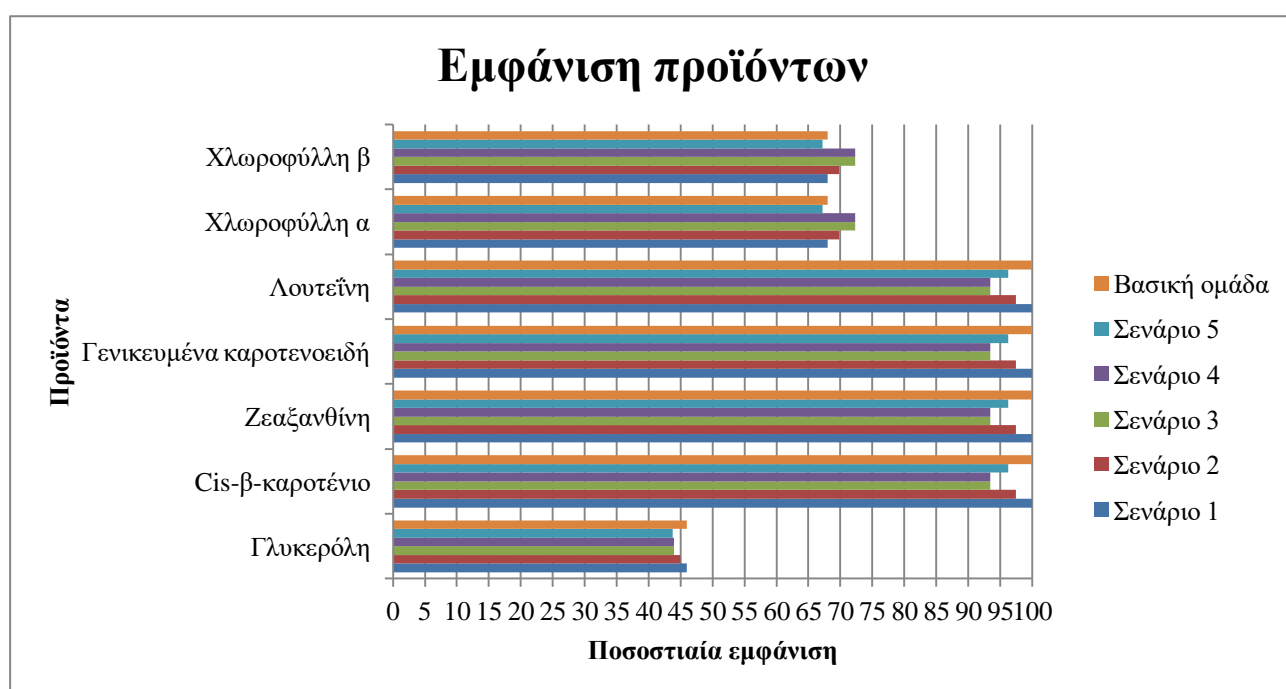


Σχήμα 31



Σχήμα 32

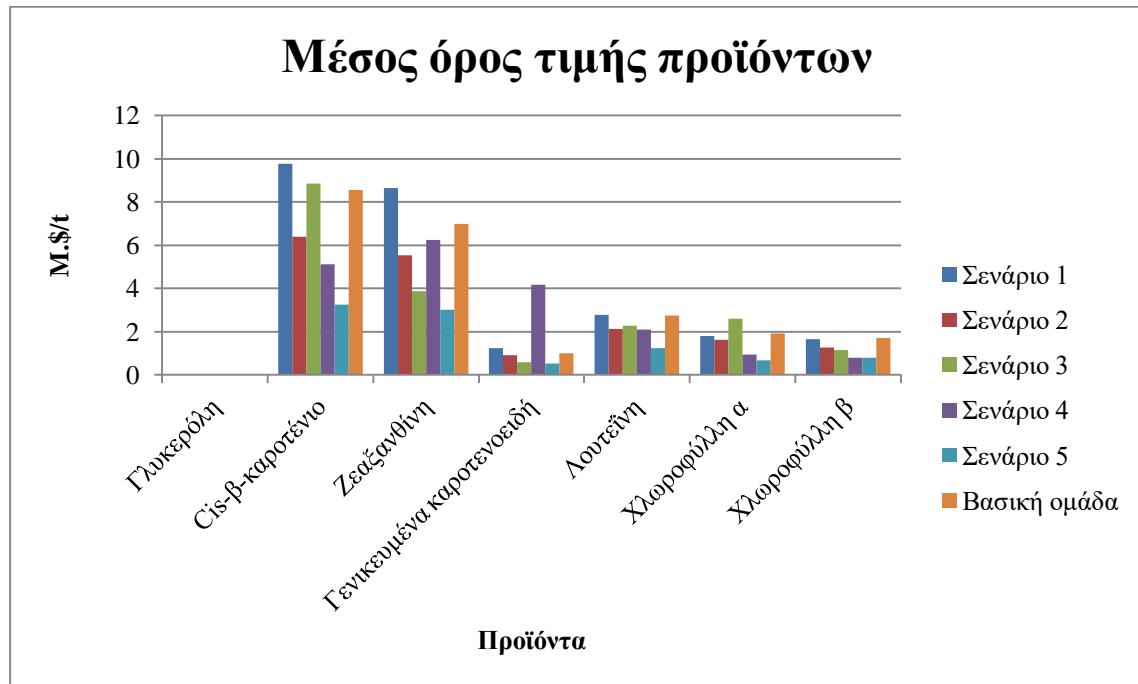
Στα δύο παραπάνω σχήματα (31, 32) εμφανίζεται το κόστος λειτουργίας του βιοδιυλιστηρίου και η τυπική απόκλιση του από αυτό. Το κόστος λειτουργίας των σεναρίων του βιοδιυλιστηρίου αυξάνονται μέχρι τα πρώτα 45 paths. Τα σεσάρια έχουν πολύ μικρότερες διακυμάνσεις σε σχέση με την βασική ομάδα η οποία έχει το μέγιστο και ελάχιστο στο διάγραμμα. Το εύρος του κόστους λειτουργίας για τα σεσάρια είναι μεταξύ των 16 με 20 εκ.\$ ανά έτος. Αυτό σε συνδυασμό με την χαμηλή τυπική απόκλιση για τα πρώτα 45 path κάνει το κόστος λειτουργίας προβλέψιμο με ασφάλεια χωρίς να διακυμαίνεται έντονα από την τιμή των προϊόντων. Όπως στο πάγιο κόστος έτσι η απόκλιση του κόστους λειτουργίας είναι πολύ χαμηλή για το σεσάριο 1 στα τελευταία 30 paths.



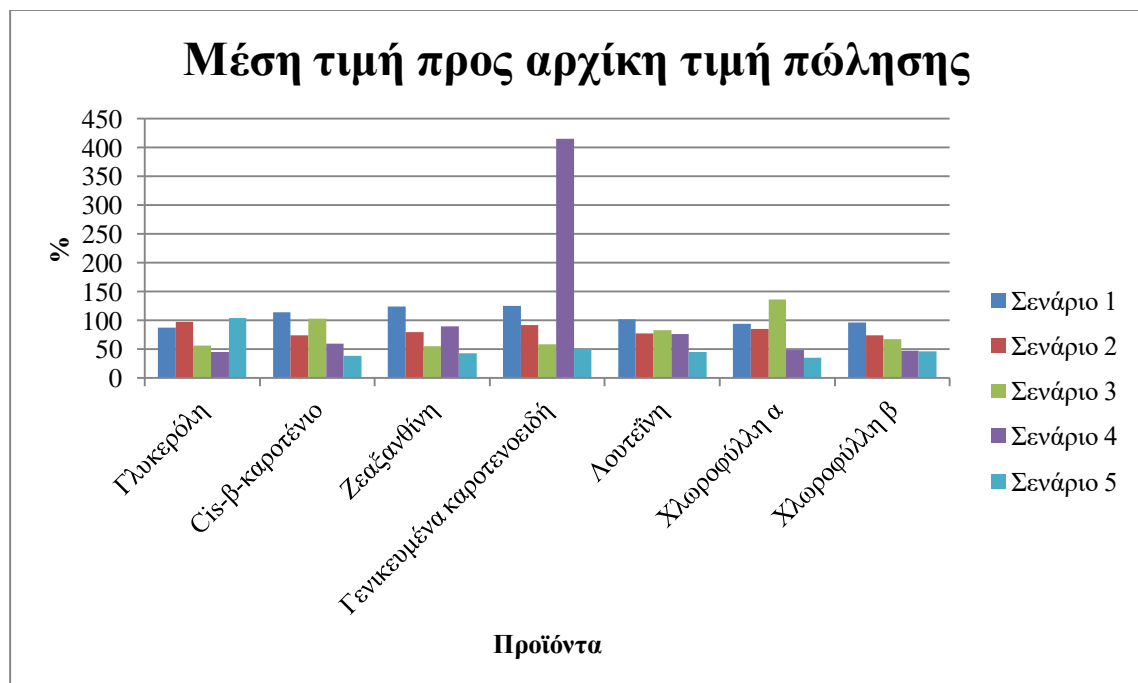
**Σχήμα 33**

Στο σχήμα 33 εμφανίζεται ο μέσος όρος των προϊόντων που παράχθηκαν σε ποσοστό. Τα σεσάρια βρίσκονται κοντά με τα αποτελέσματα που δίνει η βασική ομάδα. Με εξαίρεση το σεσάριο 1 και την βασική ομάδα κανένα άλλο σεσάριο δεν παρουσίασε 100% εμφάνιση προϊόντος. Αυτό συνέβη για όλα τα καροτενοειδή της ομάδας καλλυντικών. Είναι αξιοσημείωτο ότι το σεσάριο 4 που έχει τα μεγαλύτερα κέρδη δεν έχει την μεγαλύτερη εμφάνιση καροτενοειδών. Σε σχέση με τα άλλα σεσάρια το σεσάριο 4 και 3 εμφάνισαν λιγότερα καροτενοειδή και περισσότερες χλωροφύλλες. Η γλυκερόλη παράχθηκε περιστασιακά ανάλογα το σεσάριο. Όντας τα αποτελέσματα εμφάνισης τόσο κοντά μεταξύ τους και με την βασική ομάδα σε τόσο μεγάλο εύρος τιμών φαίνεται ότι αυτή η εικόνα εμφάνισης έχει μεγάλη σταθερότητα.

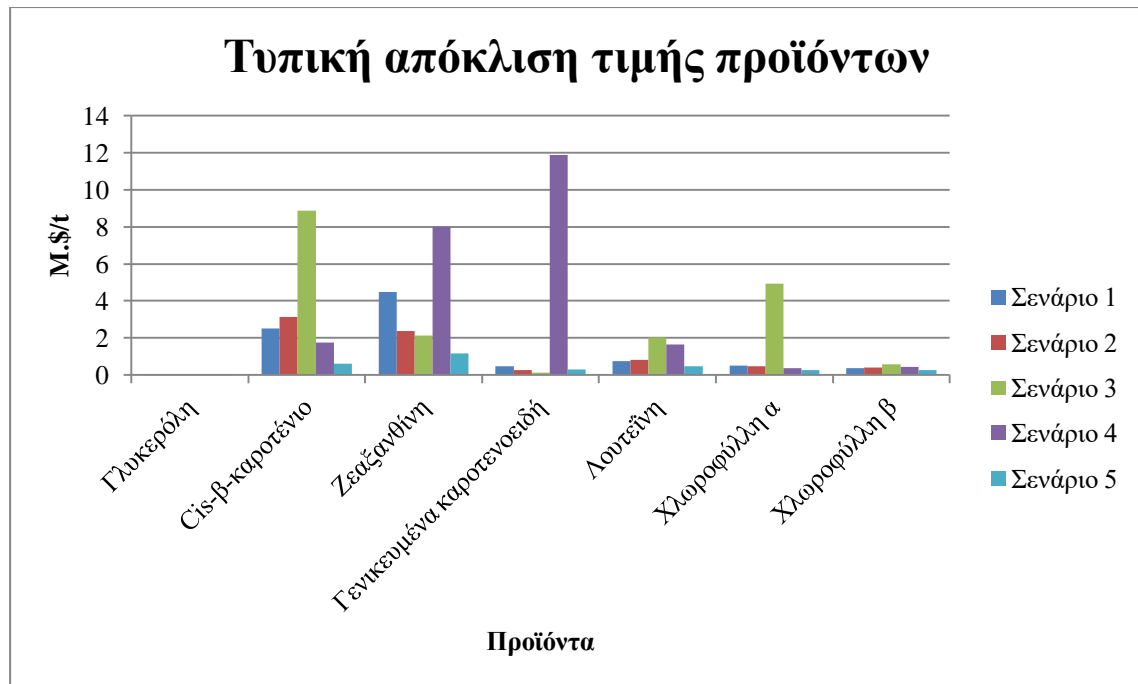
Συνεπώς είναι αναμενόμενη η παραγωγή των καροτενοειδών σε ποσοστό τουλάχιστον 90%, των χλωροφυλλών σε τουλάχιστον 65% και τέλος της γλυκερόλης τουλάχιστον 40%.



Σχήμα 34



Σχήμα 35



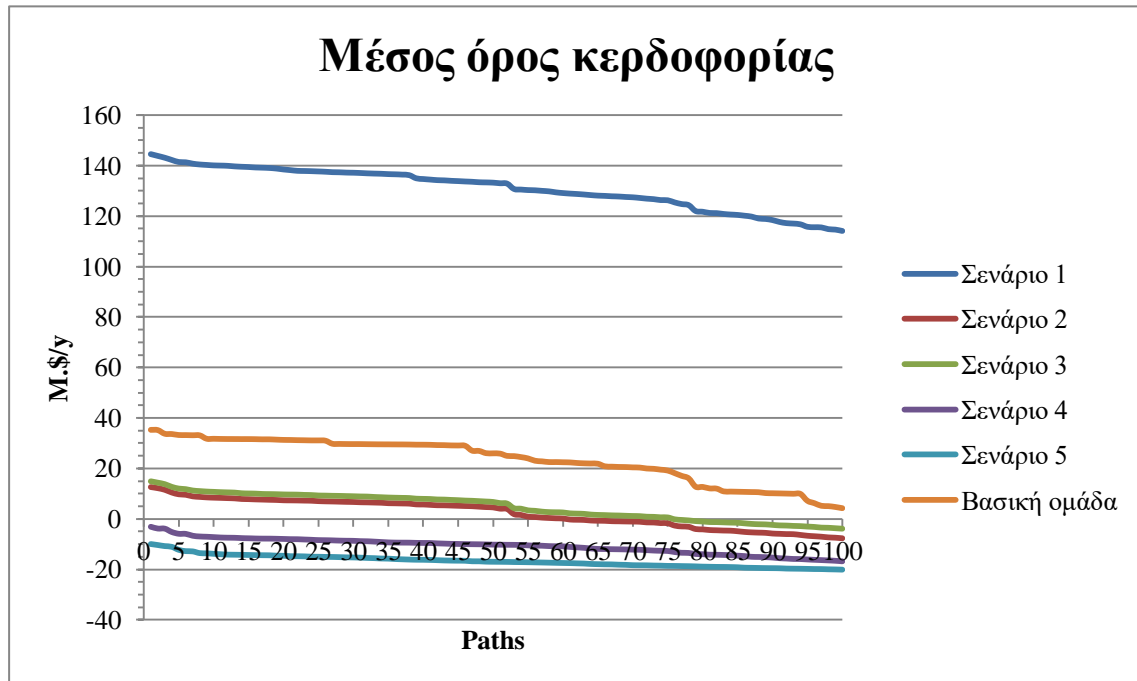
**Σχήμα 36**

Στα παραπάνω τρία διαγράμματα εμφανίζεται η τιμή των μέσων όρων των προϊόντων, η τυπική απόκλιση της και το μέγεθος της σε σχέση με την αρχική τιμή. Το cis-β-καροτένιο και η ζεαζανθίνη έχουν την μεγαλύτερη ή κοντά στην μεγαλύτερη αξία πώλησης σε σύγκριση με τα άλλα προϊόντα. Το πλέον κερδοφόρο σενάριο είναι το 4 στο οποίο τα γενικευμένα καροτενοειδή εμφανίζουν μέγιστη αξία πάνω από τέσσερις φορές σε σχέση με την αρχική τους τιμή. Έτσι το σενάριο 4 έχει τρία προϊόντα πώλησης με αξία άνω των 4εκ. δολάρια ανά τόνο. Η αξία των χλωροφυλλών είναι μεγαλύτερη των γενικευμένων καροτενοειδών, με εξαίρεση το σενάριο 4, αλλά εμφανίζονται λιγότερο. Η αξία της γλυκερόλης είναι πρακτικά ασήμαντη σε σχέση με την τιμή των άλλων προϊόντων.

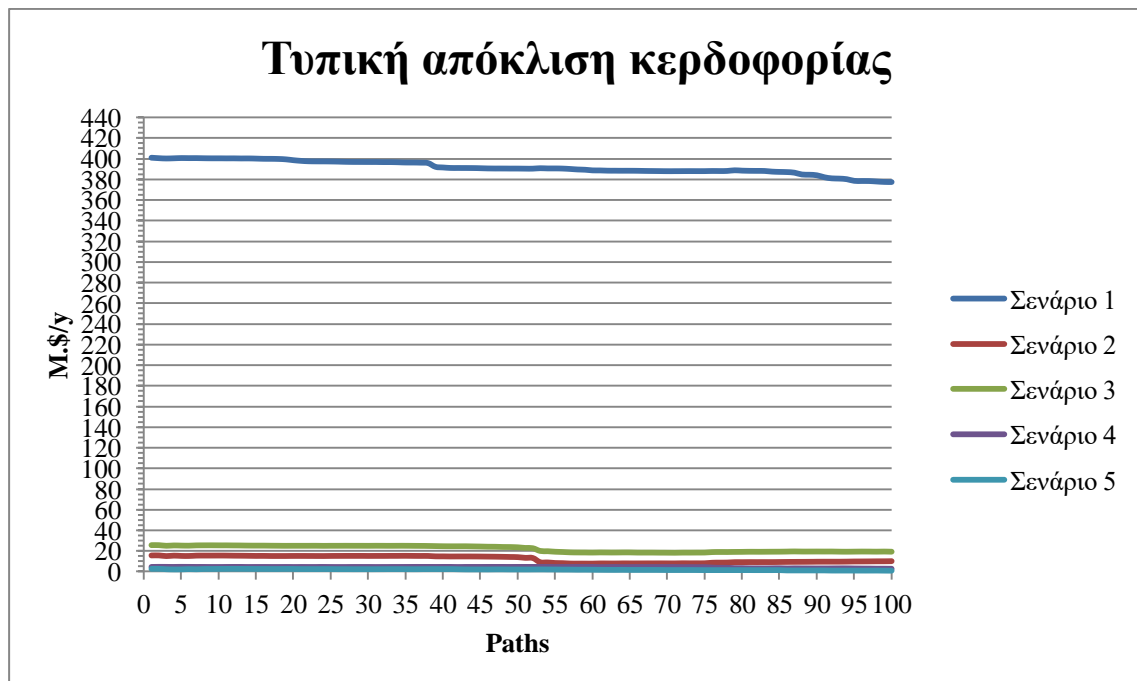
Σε σχέση με τις αρχικές τιμές τα προϊόντα των σεναρίων είχαν τιμές μεταξύ του 30% με 140% επί της αρχικής τιμής. Εξαιρεση αποτελούν τα γενικευμένα καροτενοειδή στο σενάριο 4 που είδαν αύξηση άνω του 400%. Για αυτό το σενάριο έχουν την μέγιστη τυπική απόκλιση, δείγμα της πολύ υψηλής εναλλαγής των τιμών τους στις επαναλήψεις που παρήγαγαν το σενάριο. Η μεγάλη διακύμανση των εσόδων και της κερδοφορίας του σεναρίου 4 οφείλεται ακριβώς σε αυτήν την διακύμανση των τιμών των γενικευμένων καροτενοειδών και ακολούθως της

ζεαξανθίνης. Επόμενο σε τυπική απόκλιση εσόδων και κέρδους ήταν το σενάριο 3 λόγω της υψηλής διακύμανσης της χλωροφύλλης α και της cis-β-καροτένης.

#### 6.4. Διαγράμματα διαιτητικών προϊόντων

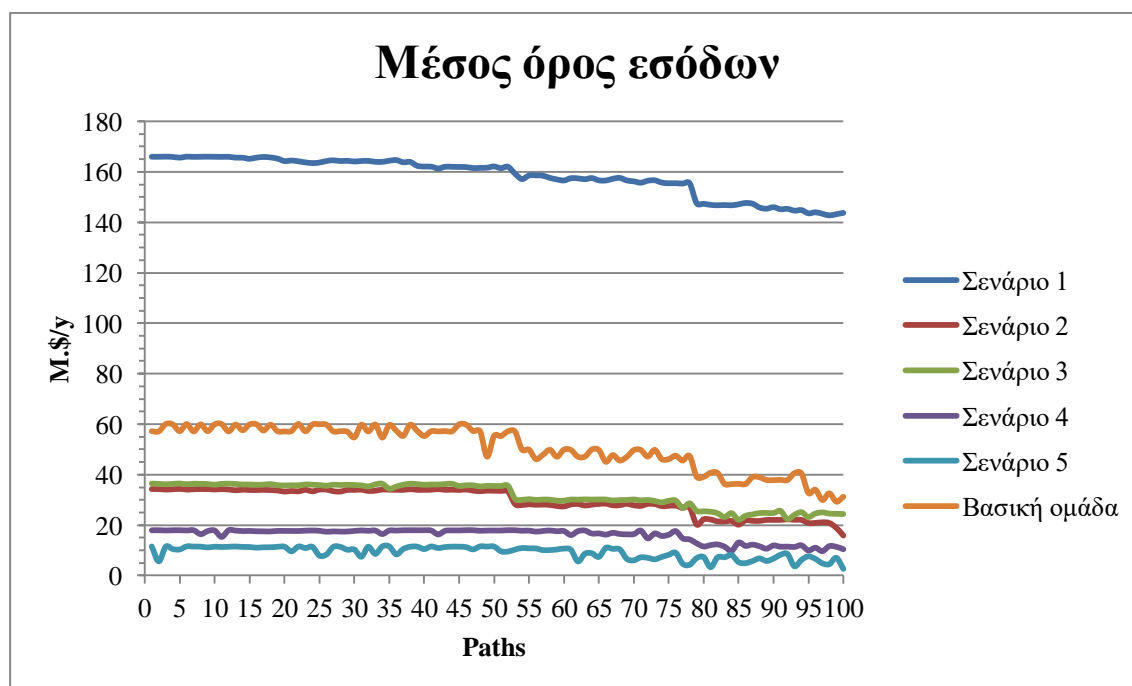


Σχήμα 37

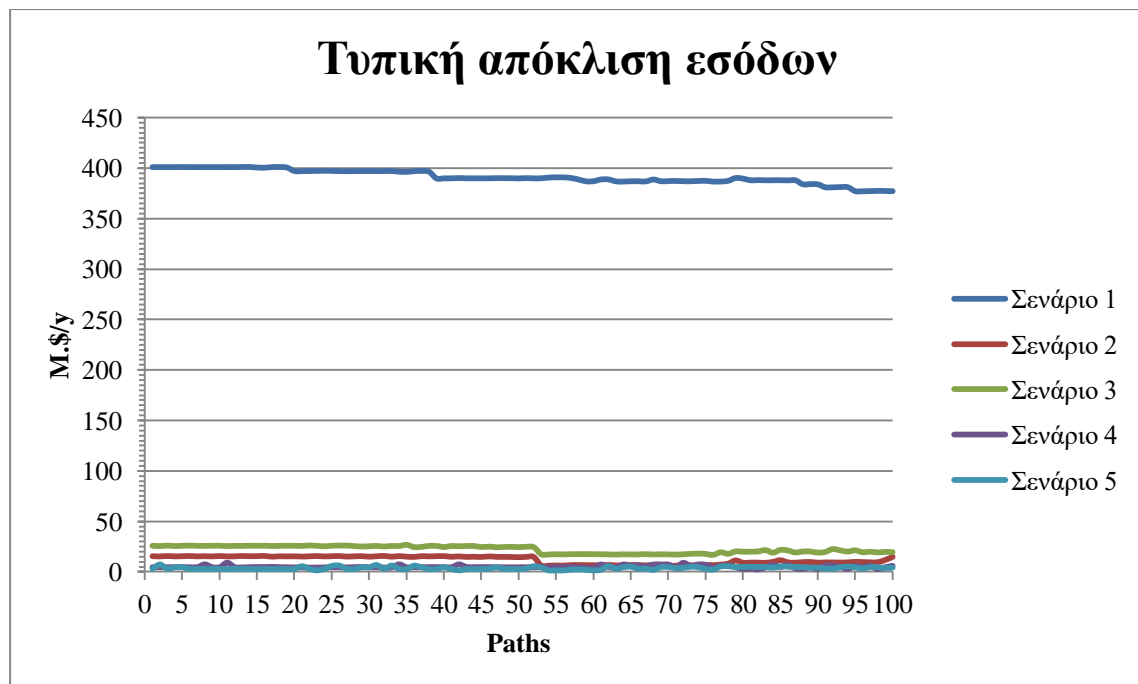


Σχήμα 38

Στα σχήματα 37 και 38 εμφανίζεται ο μέσος όρος της κερδοφορίας των σεναρίων και η τυπική απόκλιση τους. Το σενάριο 1 εμφάνισε την μεγαλύτερη κερδοφορία και τυπική απόκλιση σε σύγκριση με όλα τα σεναρία όλων των ομάδων που εξετάστηκαν. Με εξαίρεση το σενάριο 1 όλα τα υπόλοιπα σεναρία είχαν αισθητά μικρότερη κερδοφορία από την βασική ομάδα. Μάλιστα δύο σεναρία το 4 και 5 ήταν πάντα ζημιογόνα. Αυτό ενώ εμφάνισαν χαμηλή τυπική απόκλιση. Κάτι που σημαίνει ότι η ομάδα για τα απαισιόδοξα σεναρία δεν είναι μια καλή επιλογή κερδοφορίας. Τα ρεαλιστικά σεναρία 2 και 3 ήταν κερδοφόρα ανάλογα το path και κοντά μεταξύ τους. Σε συνδυασμό με την τυπική απόκλιση τους που είναι «όμοια» για τα δυο και με μικρή κλίση μπορεί να θεωρηθεί ότι τα ρεαλιστικά σεναρία είναι κερδοφόρα ανάλογα το επιλεγμένο path. Τέλος όλες οι καμπύλες ήταν γραμμικές χωρίς έντονες διακυμάνσεις. Μάλιστα η τυπική απόκλιση των σεναρίων 2, 3, 4 και 5 μπορεί να θεωρηθεί σταθερή μέσα σε ένα μικρό φάσμα τιμών.

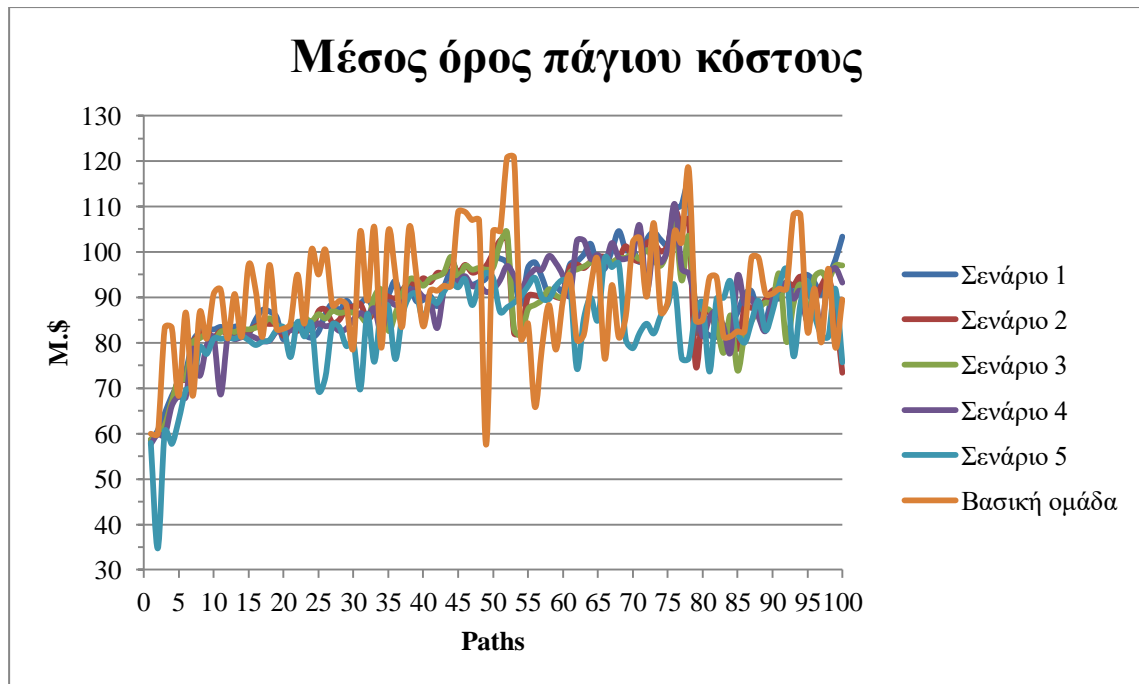


Σχήμα 39

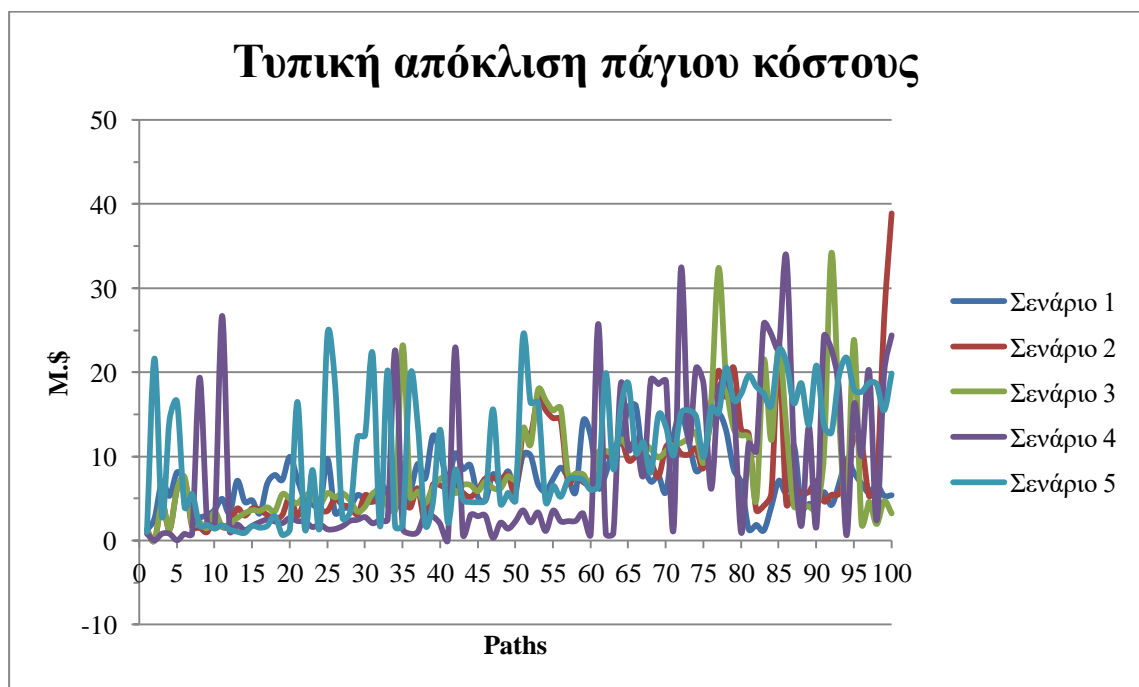


**Σχήμα 40**

Στα σχήματα 39 και 40 διαγράφεται ο μέσος όρος των εσόδων και η τυπική απόκλιση τους. Όπως ήταν η σειρά των σεναρίων στην κερδοφορία έτσι είναι ομοίως εδώ η σειρά στα έσοδα. Το σενάριο 1 έχει τα μεγαλύτερα έσοδα και την μέγιστη τυπική απόκλιση που παρατηρήθηκε σε όλες τις ομάδες. Τα σεναρία 4 και 5 έχουν χαμηλά έσοδα που τα οδήγησε στην ζημιογόνα κερδοφορία. Οι καμπύλες του μέσου όρου και της τυπικής απόκλιση τους επέδειξαν ιδιαίτερη σταθερότητα γύρω από τις τιμές που ξεκίνησαν δίχως να εμφανίζουν δραματική απόκλιση καθώς αυξάνονταν τα paths. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο path 79 όπως σε άλλες ομάδες εμφανίστηκε μια πτώση των εσόδων στα σεναρία 1 και 2. Στο σενάριο 3 ήταν λιγότερο έντονη.



Σχήμα 41

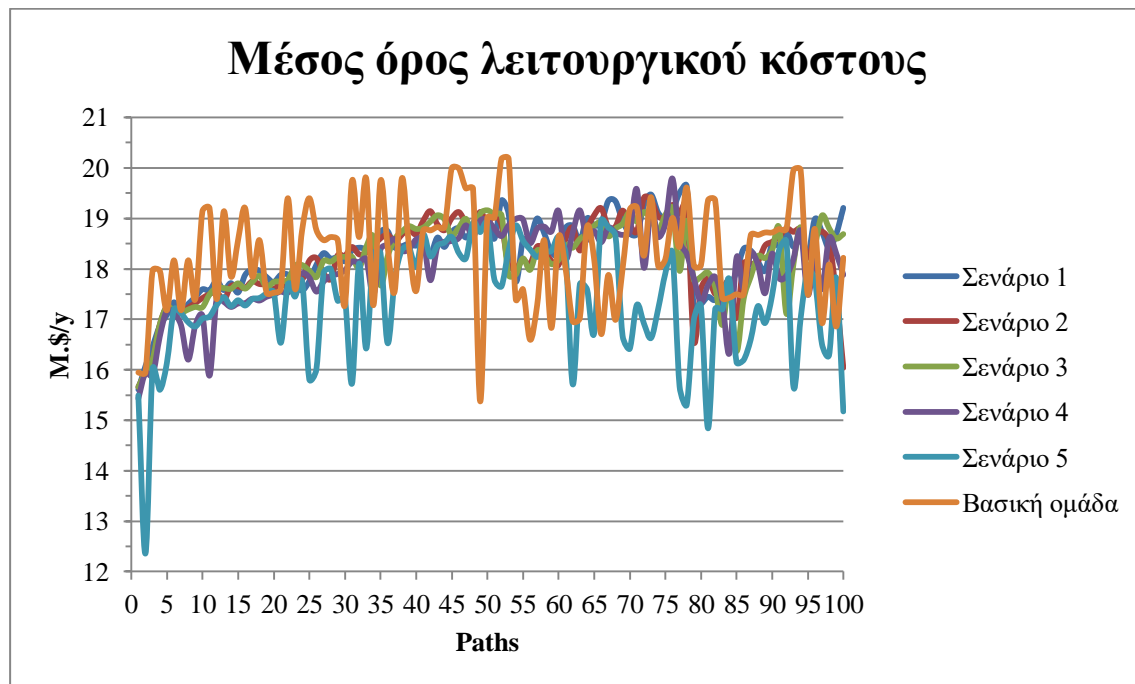


Σχήμα 42

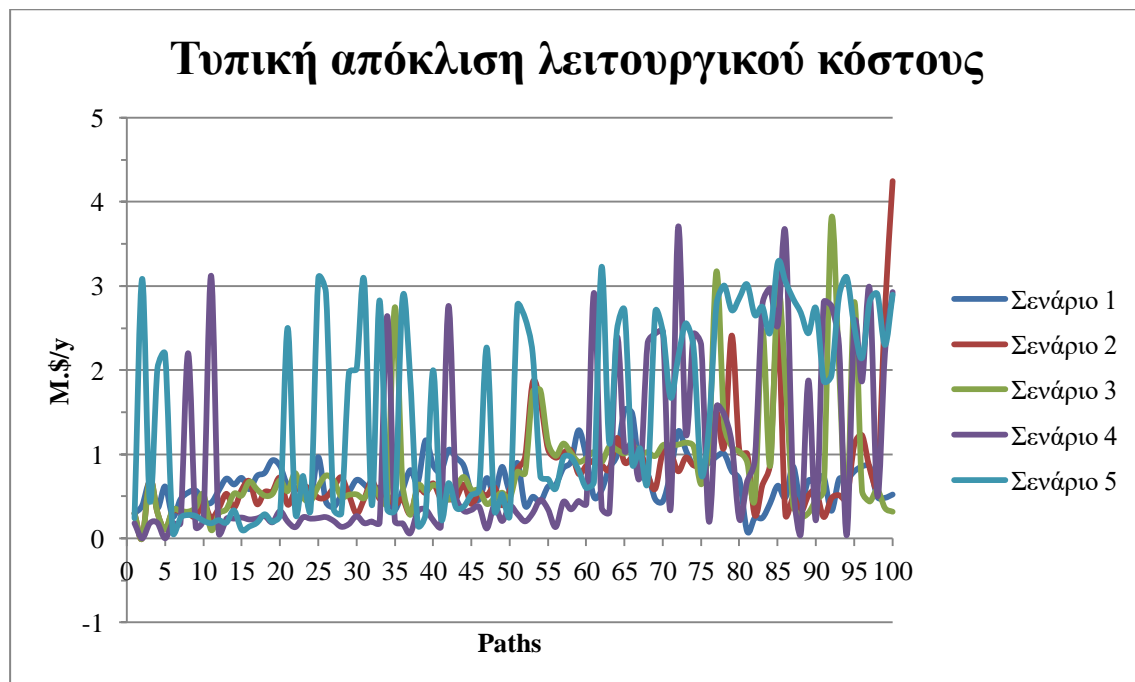
Στα σχήματα 41 και 42 εμφανίζεται ο μέσος όρος στα πάγια κόστη και η τυπική τους απόκλιση. Η βασική ομάδα (όπως παρατηρήθηκε στις άλλες ομάδες) και το σενάριο 5 έχουν τις περισσότερες και εντονότερες διακυμάνσεις. Το σενάριο 1 που είχε τις μεγαλύτερες τιμές στα προηγούμενα διαγράμματα εμφανίζει την σταθερότερη συμπεριφορά ακολουθώντας παρόλα αυτά την γενική τάση των σεναρίων. Το ζημιογόνο σενάριο 5 εμφανίζει τη μικρότερη τιμή παγίου κόστους και η βασική



ομάδα την μέγιστη τιμή στο διάγραμμα. Τα ζημιογόνα σενάρια 4 και 5 εμφάνισαν έντονες διακυμάνσεις στην τυπική τους απόκλιση σε όλα τα paths. Αυτό παρόλο που το ζημιογόνο σενάριο 5 είχε τις περισσότερες χαμηλότερες τιμές παγίου κόστους.



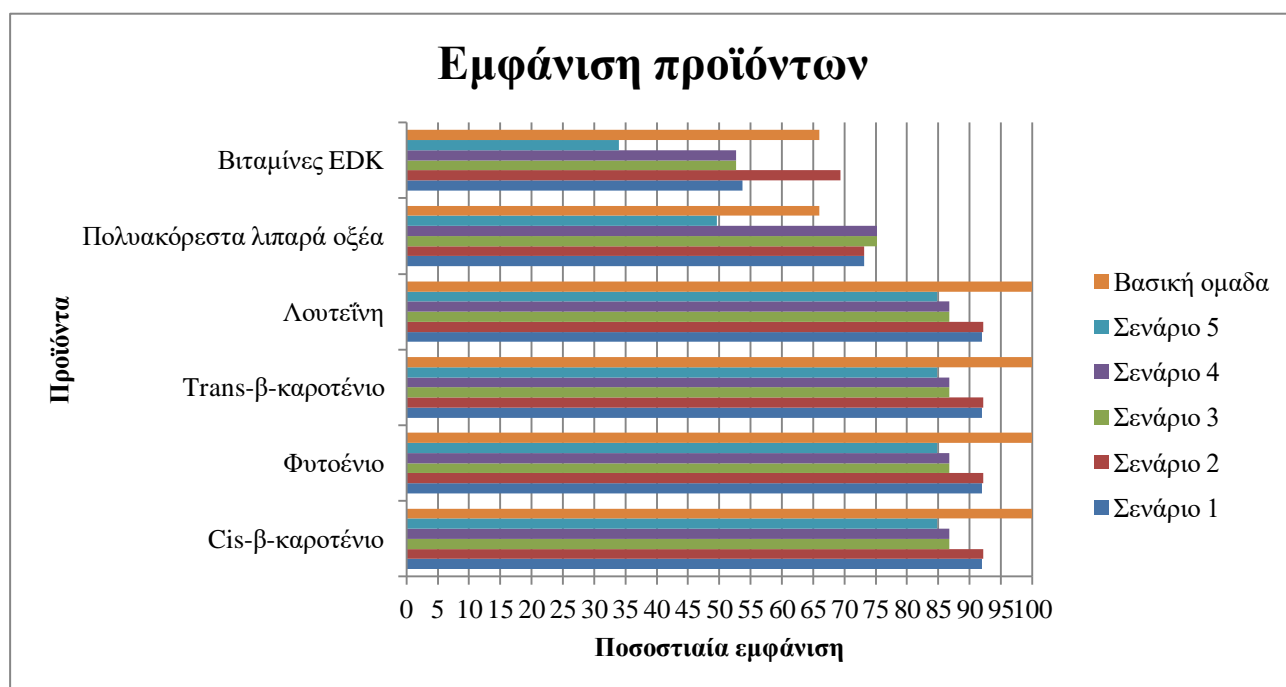
Σχήμα 43



Σχήμα 44

Το λειτουργικό κόστος όπως φαίνεται στο σχήμα 43 έχει αρκετές διακυμάνσεις. Το σενάριο 5 έχει το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος στα περισσότερα paths καθώς και το ελάχιστο του διαγράμματος. Παρόλο το χαμηλό λειτουργικό του κόστος είναι

ζημιογόνο σε όλα τα paths. Επίσης παρά τις χαμηλές τιμές που λαμβάνει έχει έντονες διακυμάνσεις. Αντίθετα με τα κερδοφόρα σενάρια τα ζημιογόνα εμφανίζουν μεγαλύτερη και περισσότερη διακύμανση στην τυπική απόκλιση στα πρώτα 45 paths.

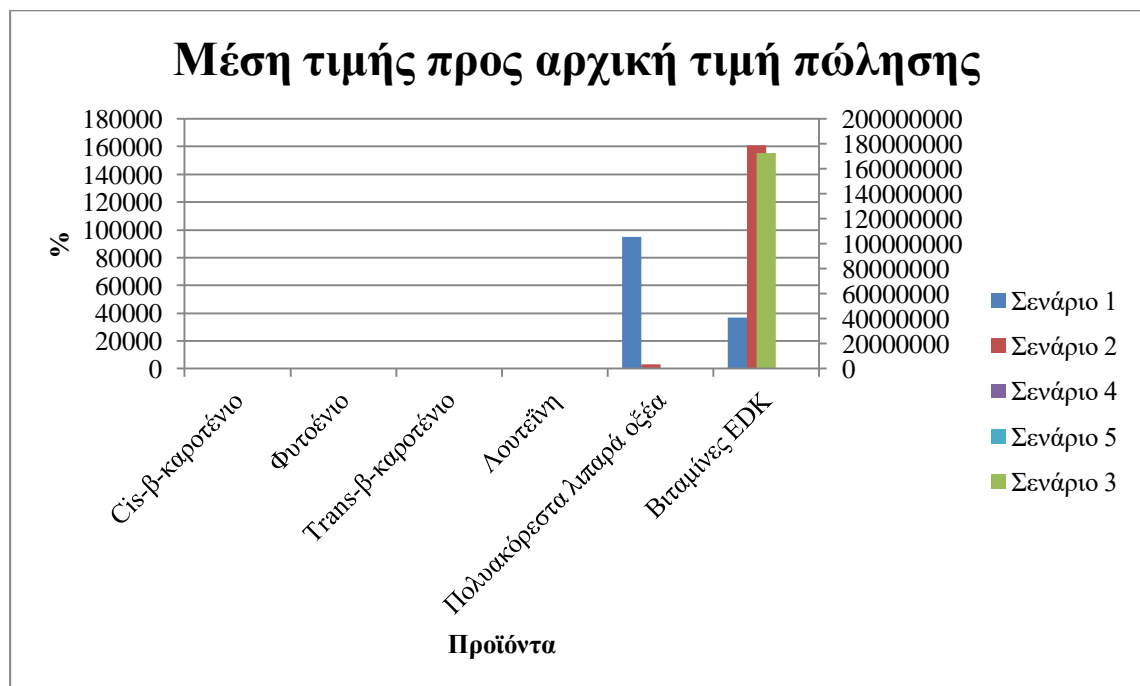


**Σχήμα 45**

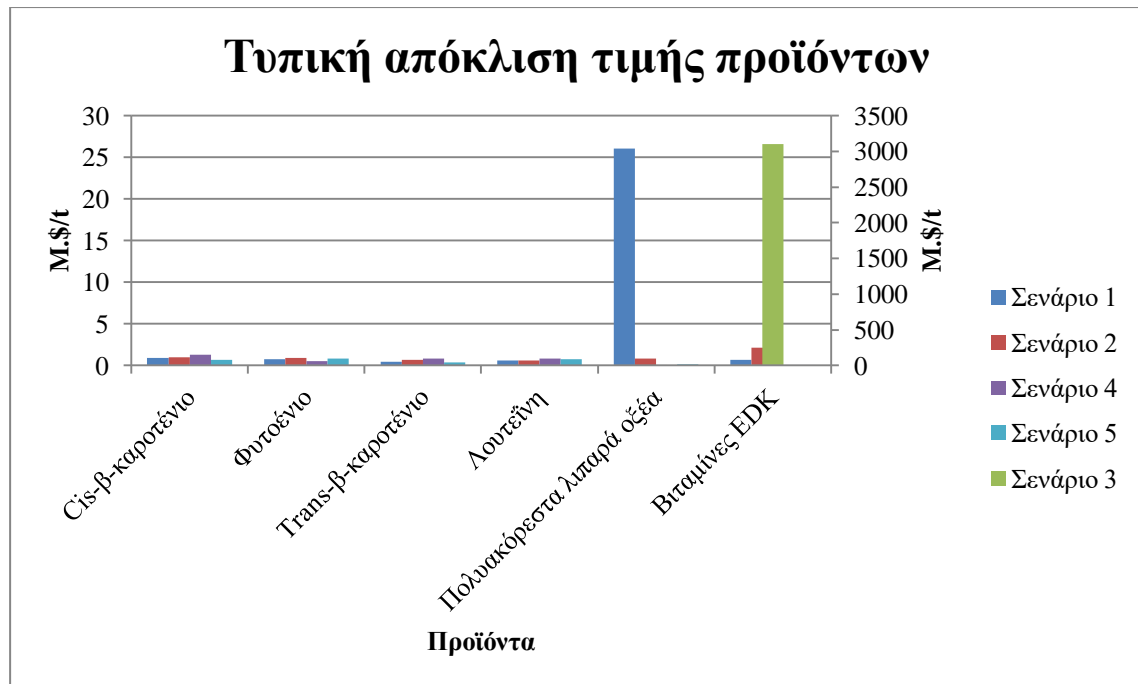
Στο σχήμα 45 παρουσιάζεται η εμφάνιση προϊόντων. Είναι ενδιαφέρον ότι όχι μόνο η βασική ομάδα είχε το 100% εμφάνισης στα καροτενοειδή αλλά το πόσο χαμηλά κινήθηκαν όλα τα σενάρια στην εμφάνιση τους. Με εξαίρεση το σενάριο 2 στις βιταμίνες και τα σενάρια 1 μέχρι 4 στα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα η εμφάνιση των προϊόντων είναι μικρότερη σε σχέση με την βασική ομάδα. Αυτό παρόλο που η ομάδα έχει λιγότερα προϊόντα, οπότε βασίζεται σε όσα έχει περισσότερο. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά την υψηλή τιμή των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και των βιταμινών στο στα σενάρια 1 και 3 αντίστοιχα υπάρχει ένα «σκληρό» όριο που δεν τα οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής τους κοντά στο 90 % όπως θα ήταν μια λογική σκέψη. Μάλιστα αυτή η αύξηση της τιμής δεν είναι αρκετή για να τα τοποθετήσει ως τα πρώτα προϊόντα σε ποσοστό εμφάνισης. Περαιτέρω δε στις βιταμίνες για το σενάριο 3 έχει υπάρξει αύξηση της τιμής τάξεις μεγέθους υψηλότερη με το προϊόν να παράγεται λιγότερο από την βασική ομάδα που είχε κατά πολύ μικρότερη τιμή. Τέλος τα καροτενοειδή παρά τις διαφορές στην τιμή τους παράγονται στο ίδιο ποσοστό ανά σενάριο, δηλαδή το φυτοένιο παράγεται στο ίδιο ποσοστό με το cis-β-καροτένιο για το σενάριο 5.



Σχήμα 46



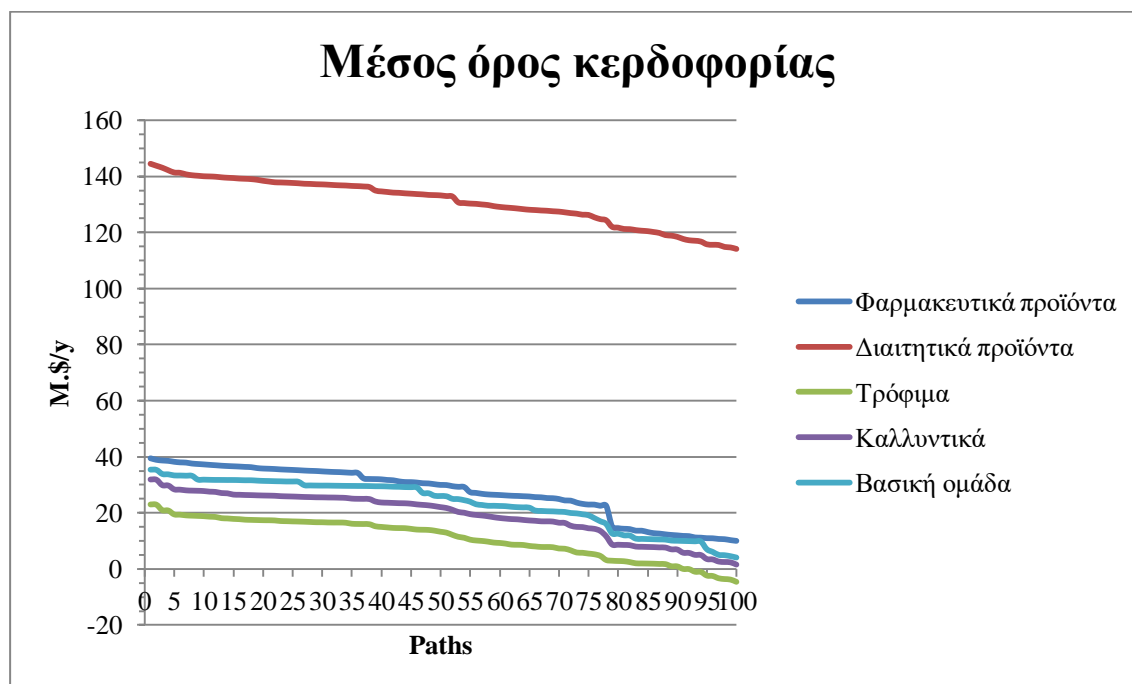
Σχήμα 47



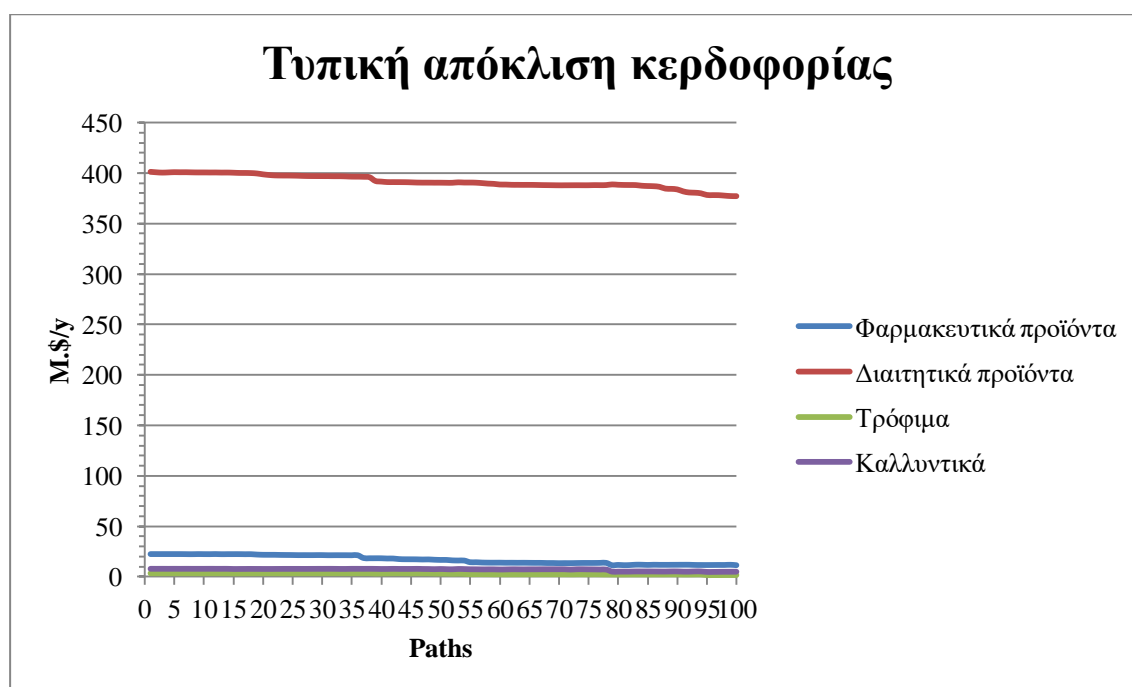
**Σχήμα 48**

Στα τρία παραπάνω σχήματα εμφανίζονται τα διαγράμματα των τιμών. Οι τιμές για τα καροτενοειδή δεν είχαν μεγάλες διακυμάνσεις όπως σε άλλες ομάδες. Ακολούθησαν την τάση των σεναρίων στην σειρά μείωσης τους. Η χαμηλή απόκλιση τους είναι η αιτία που δεν υπήρξε μεγάλη διακύμανση στις τιμές των εσόδων και της κερδοφορίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά την ραγδαία αύξηση της τιμής των βιταμινών που οδήγησε σε τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη τιμή πώλησης σε σχέση με την αρχική το σενάριο 3 ήταν το δεύτερο κερδοφόρο σενάριο κοντά με το σενάριο 2. Περαιτέρω δε δεν παρουσίασαν μεγαλύτερη εμφάνιση προϊόντων όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Το σενάριο 1 εμφάνισε τεράστια κερδοφορία, έσοδα και συνάμα τυπική απόκλιση εξαιτίας της τεράστιας αύξησης της τιμής των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων σε μια από τις επαναλήψεις για την δημιουργία του σεναρίου 1. Εν κατακλείδι παρά τις μεγάλες αυξήσεις των βιταμινών και των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων σε διάφορες επαναλήψεις για την παραγωγή του σεναρίου η βάση των εσόδων είναι τα καροτενοειδή και εμφανίζονται περισσότερο από ότι τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και οι βιταμίνες. Η αυξομείωση των βιταμινών έχει μεγαλύτερη δυσκολία να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα και πρέπει να αλλάξει τάξεις μεγέθους οι τιμή τους για να δώσει σαφή διαφορά. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι ευκολότερο να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα αν μπορέσουν να προσεγγίζουν τουλάχιστον την τιμή του cis-β-καροτένιου. Παρόλα αυτά έχουν την τάση να εμφανίζονται λιγότερο από ότι τα καροτενοειδή στην παραγωγή.

## 6.5. Διαγράμματα για το σενάριο 1



Σχήμα 49

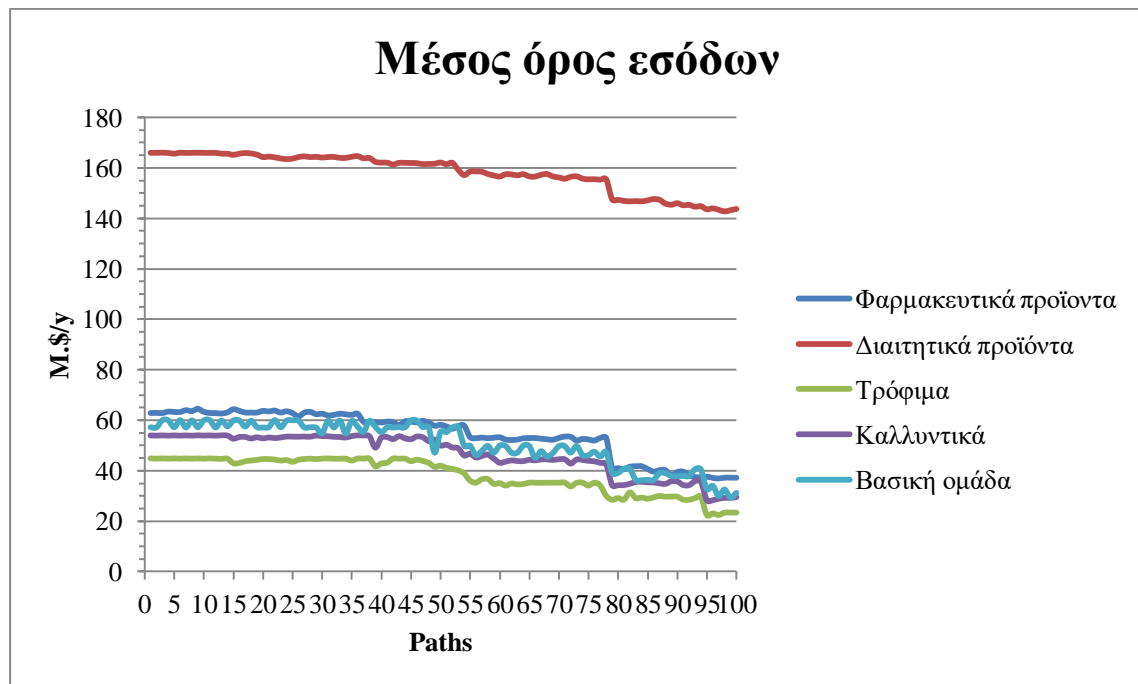


Σχήμα 50

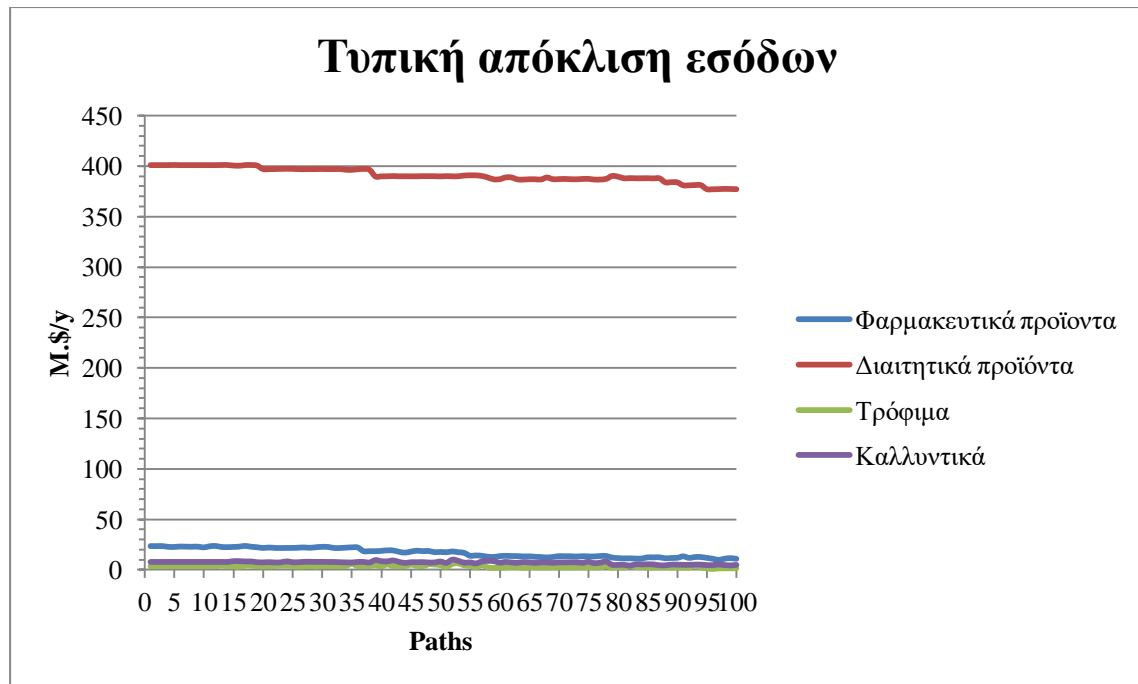
Στα διαγράμματα 49 και 50 εμφανίζεται η κερδοφορία για το σενάριο 1 και η τυπική απόκλιση της. Παρά την διαφορετική χρήση κατανομών, προϊόντων και παράγοντα κλίμακας όλες οι καμπύλες είναι ομαλές και έχουν παρόμοια φθίνουσα κλίση. Ακόμα η πτώση που εμφανίζεται στην κερδοφορία λίγο πριν το path 80 είναι κοινή για όλες

με πιο έντονη για την ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων και λιγότερο έντονη για την ομάδα των τροφίμων. Η τυπική απόκλισή τους έχει λίγες διακυμάνσεις και μπορεί να θεωρηθεί γραμμική ελαφρώς φθίνουσα.

Η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων έχει την μεγαλύτερη κερδοφορία παρότι αναμενόταν να είναι η φαρμακευτική ομάδα πρώτη αντί δεύτερη. Αυτό επειδή σε μικρό αριθμό επαναλήψεων λίγες μεγάλες τιμές μπορούν να αλλάξουν την σειρά αλλά η επίδραση τους φαίνεται στην έντονη τυπική απόκλιση που δημιουργούν. Η βασική ομάδα είχε μεγαλύτερη κερδοφορία από τις άλλες δύο ομάδες.

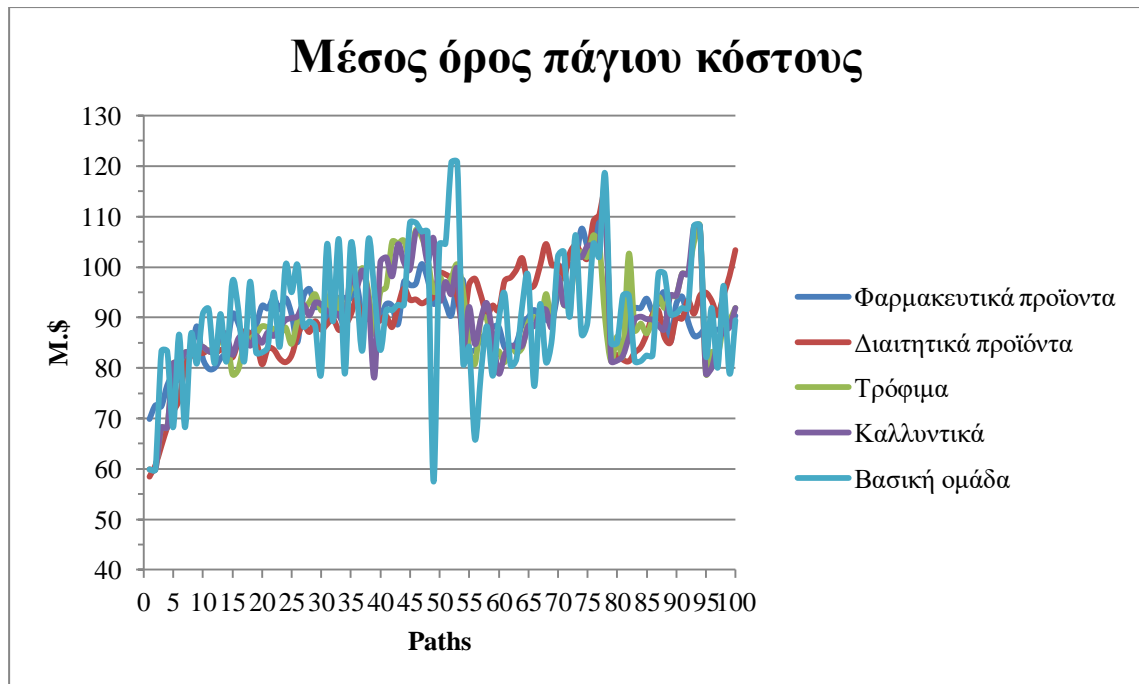


Σχήμα 51

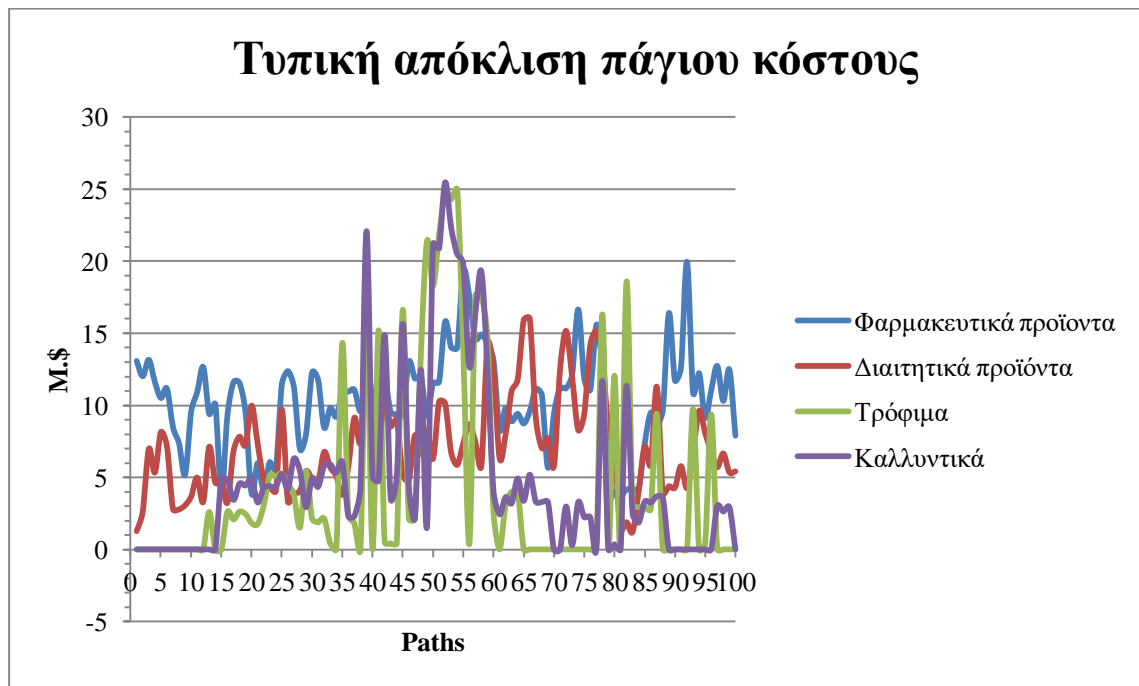


**Σχήμα 52**

Τα έσοδα εμφανίζουν λίγο μεγαλύτερη διακύμανση σε σχέση με την κερδοφορία. Η πτώση που εμφανίστηκε στην κερδοφορία λίγο πριν το path 80 εμφανίζεται και εδώ. Η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων ενώ έχει πιο κοντινή απόσταση με την βασική ομάδα στα έσοδα επειδή παράγει λιγότερα προϊόντα μπορεί και απομακρύνεται ελαφρώς θετικά στην κερδοφορία. Αντίθετα η ομάδα των καλλυντικών δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτήν την διαφορά του αριθμού παραγωγής προϊόντων, έτσι σε ορισμένα σημεία που εμφάνιζε ίσα ή περισσότερα έσοδα εμφανίζει λιγότερη κερδοφορία.



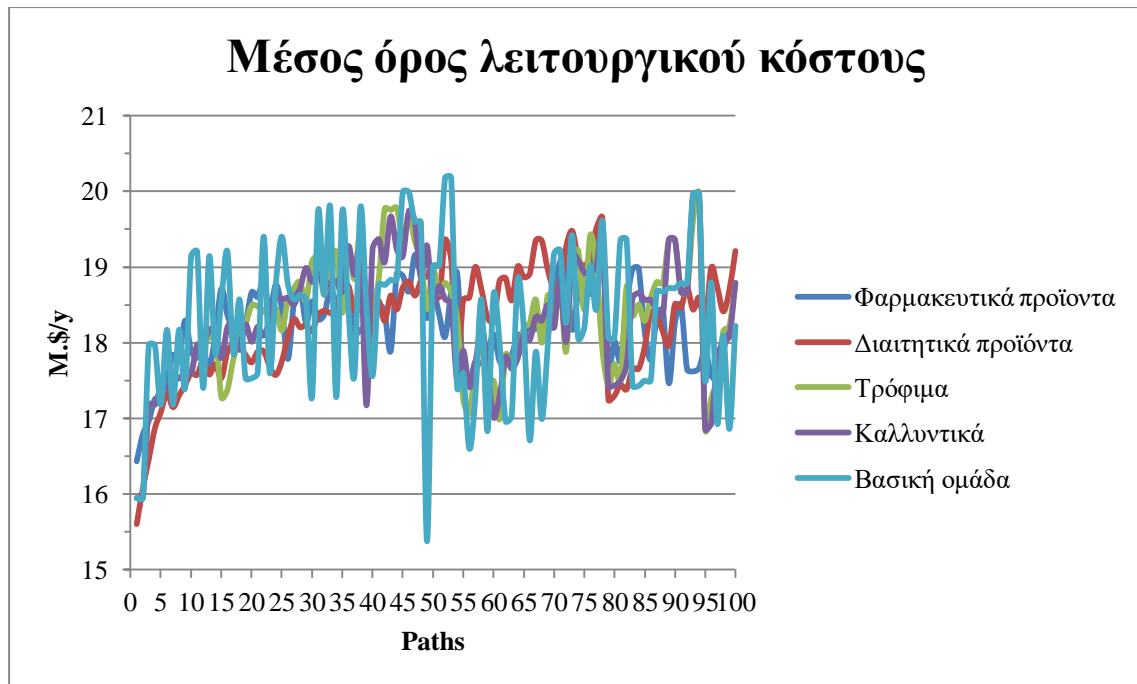
Σχήμα 53



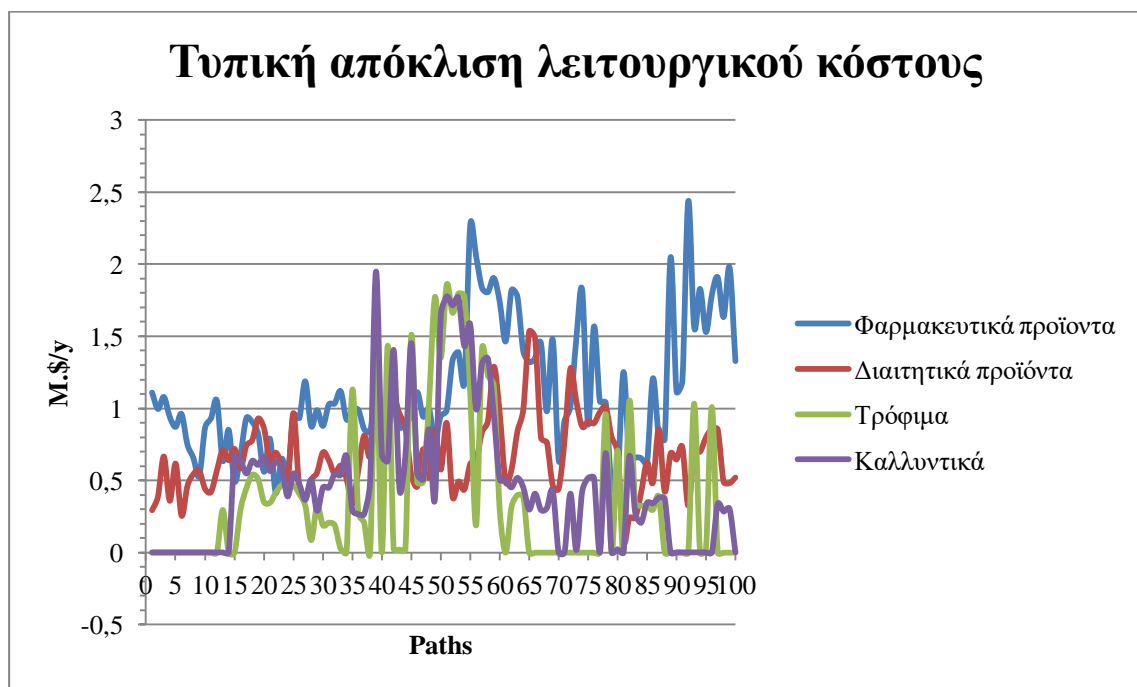
Σχήμα 54

Στα δύο παραπάνω σχήματα παρουσιάζεται το πάγιο κόστος και η απόκλιση του για τις ομάδες του σεναρίου 1. Με εξαίρεση την βασική ομάδα το πάγιο κόστος ακολουθεί την ίδια γενική τάση. Τα λιγότερα προϊόντα κάνουν πιο στενό το εύρος κόστους που χρειάζεται για την σύνθεση του βιοδιωλιστηρίου και οδηγούν σε μικρότερες εναλλαγές ανά path. Η τυπική απόκλιση του πάγιου κόστους εξαρτάται περισσότερο από το path αντί τον αριθμό ή την τιμή πώλησης των προϊόντων.





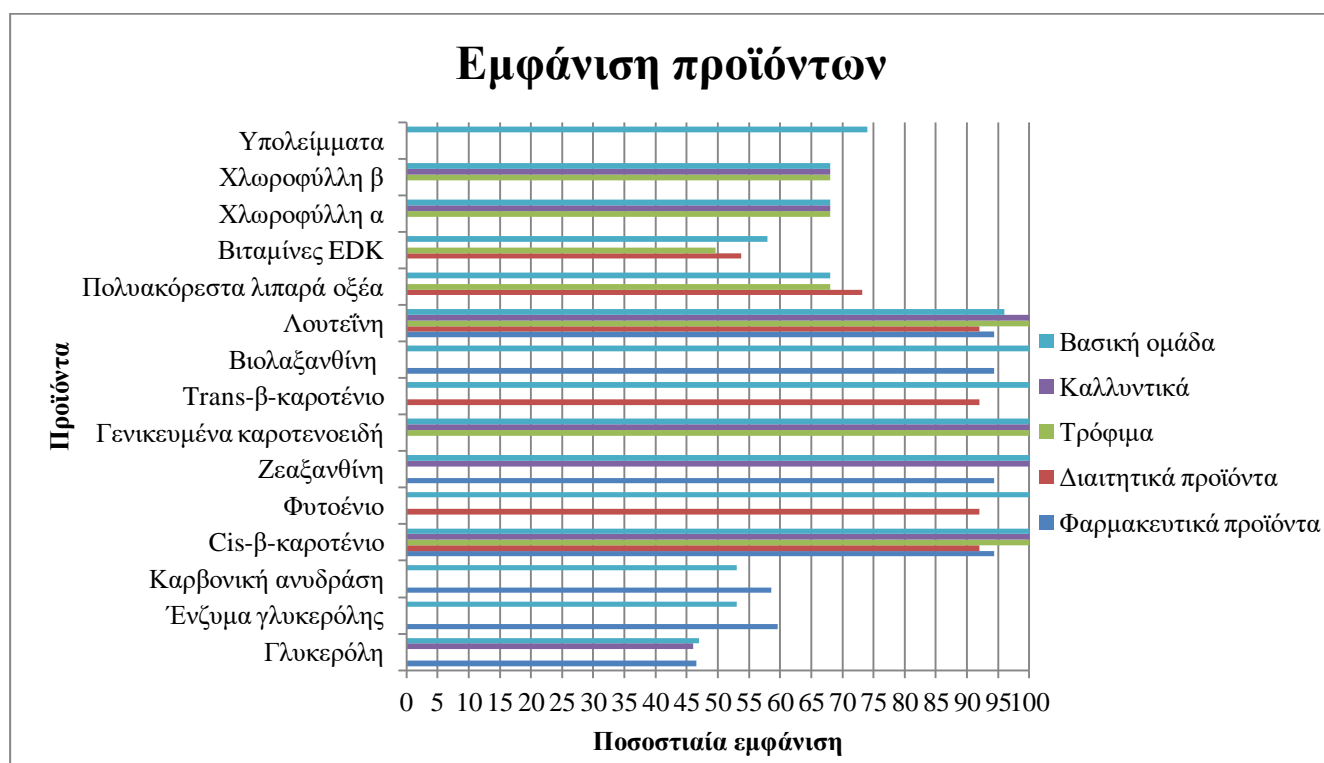
Σχήμα 55



Σχήμα 56

Στα σχήματα 55 και 56 φαίνεται το λειτουργικό κόστος για το σενάριο 1 και η τυπική απόκλιση του. Το εύρος λειτουργίας είναι όμοιο για όλες τις ομάδες που χωρίστηκαν τα προϊόντα του σεναρίου και κυμαίνεται από 15,5 έως 20 εκ. δολάρια ανά έτος. Φυσικά η βασική ομάδα που έχει περισσότερα προϊόντα προς παραγωγή έχει τις περισσότερες μεγάλες κορυφές και το μέγιστο και ελάχιστο του λειτουργικού κόστους. Συνεπώς μείωση του αριθμού των προϊόντων οδηγεί σε μια καμπύλη με

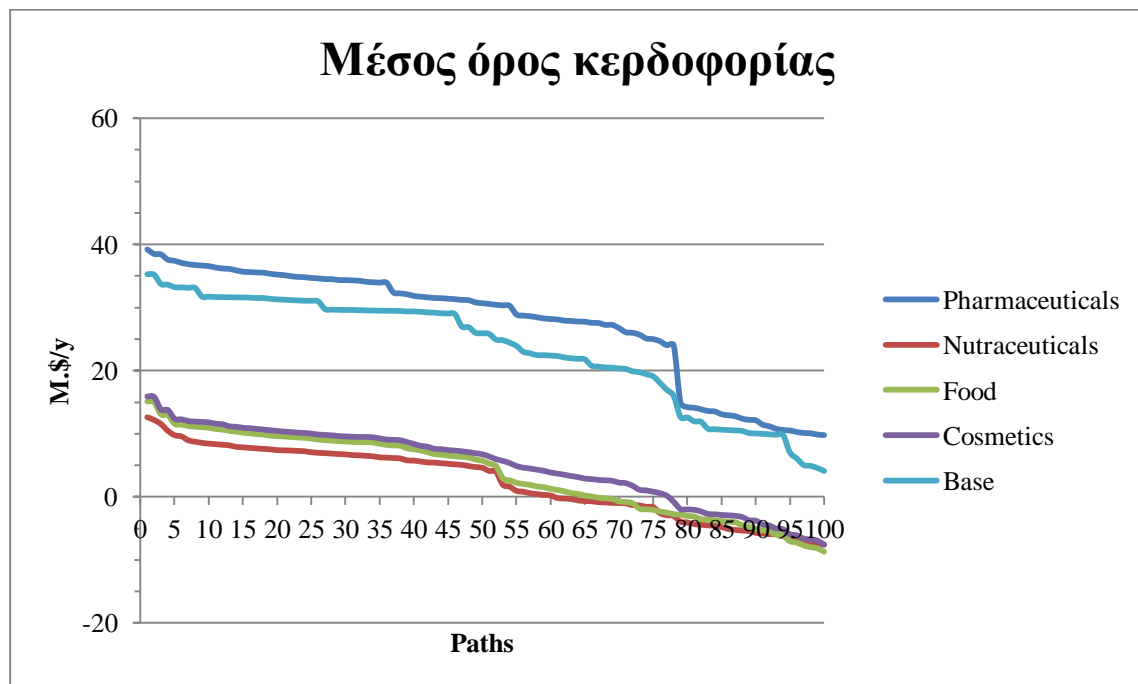
λιγότερες αποκλίσεις. Σε συνδυασμό με την μικρή τυπική απόκλιση που παρουσιάζει το λειτουργικό κόστος λιγότερα προϊόντα οδηγούν σε πιο προβλέψιμο κόστος λειτουργίας.



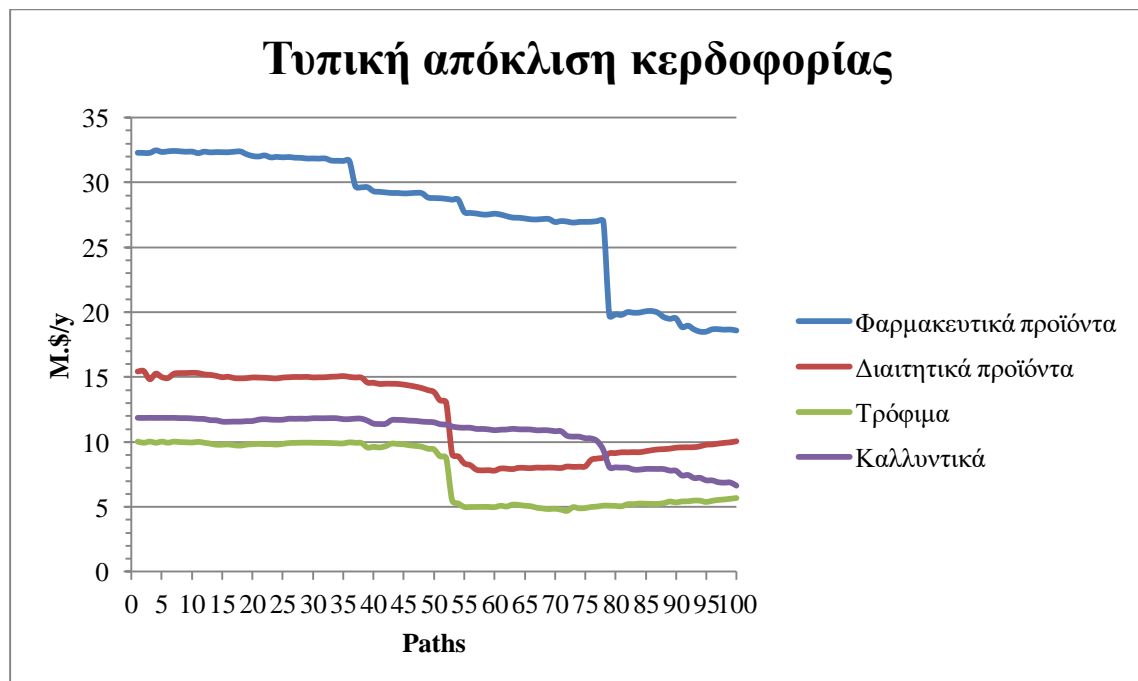
**Σχήμα 57**

Στο σχήμα 57 φαίνονται όλα τα προϊόντα που παράχθηκαν για τις τέσσερις ομάδες προϊόντων και την βασική ομάδα. Δεν αντιστοιχούν σε όλες τις ομάδες τα ίδια προϊόντα. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι τα καροτενοειδή, που είναι τα προϊόντα με την μεγαλύτερη αξία, παράγονται σε ποσοστό τουλάχιστον 90% παρά τις διακυμάνσεις στην αξία τους. Η γλυκερόλη, τα ένζυμα γλυκερόλης, η καρβονική ανυδράση και οι βιταμίνες παράγονται περιστασιακά λόγω της χαμηλής τιμής τους. Οι χλωροφύλλες παράγονται λιγότερο από τα γενικευμένα καροτενοειδή κάτι που δεν δικαιολογείται τόσο από την διαφορά τις αξίας τους. Μάλιστα παράγονται ακριβώς στο ίδιο ποσοστό από τρεις ομάδες (βασική, τρόφιμα και καλλυντικά).

## 6.6. Διαγράμματα για το σενάριο 2



Σχήμα 58

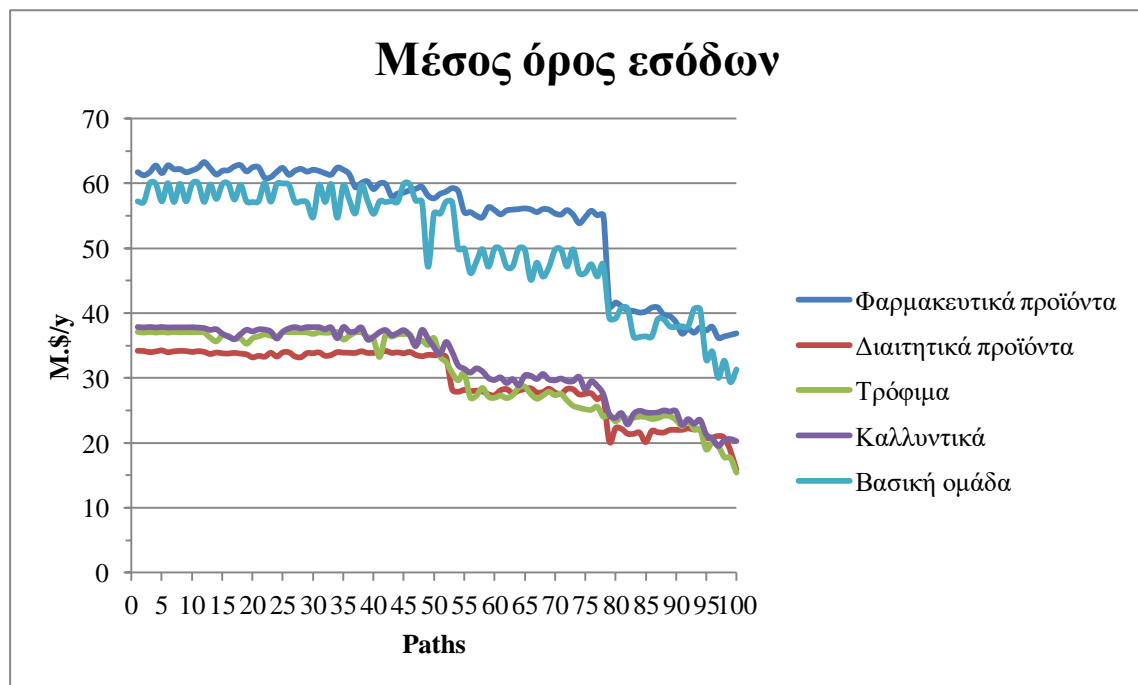


Σχήμα 59

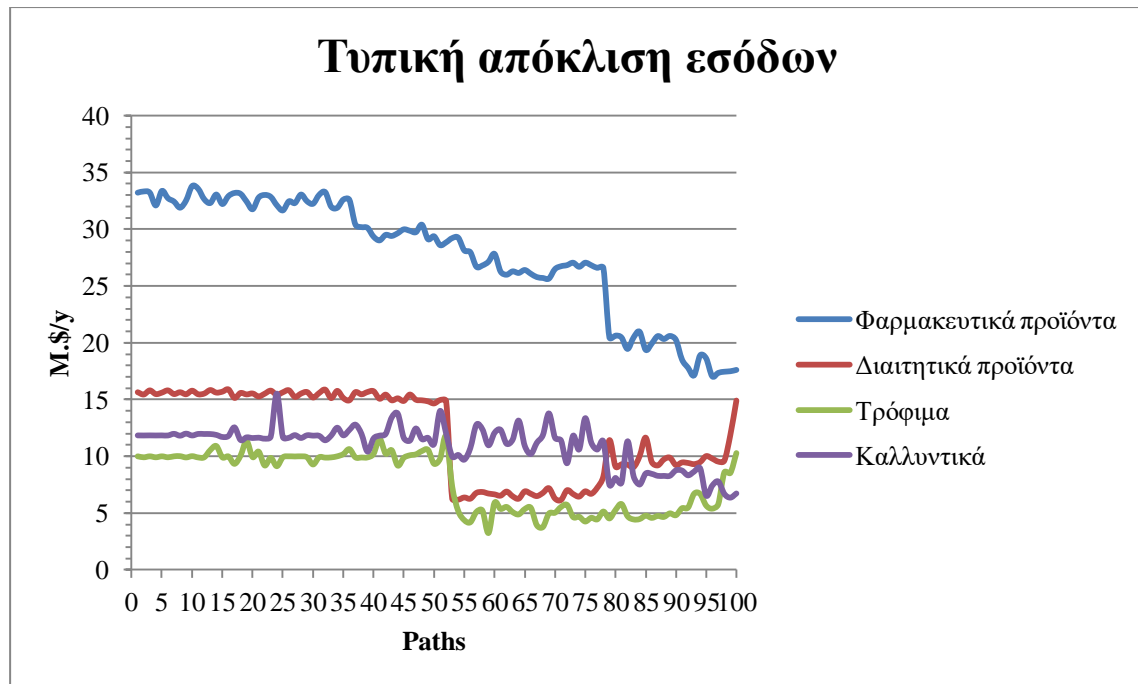
Στα δύο παραπάνω σχήματα διαγράφεται η κερδοφορία και η τυπική της απόκλιση για το σενάριο 2. Η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων έχει την μεγαλύτερη κερδοφορία υψηλότερη ακόμα και σε σύγκριση με την βασική ομάδα. Εμφανίζει όμως μία έντονη πτώση λίγο πριν το path 80, αυτό είναι λιγότερο έντονο στην βασική

ομάδα και τα καλλυντικών. Με εξαίρεση τα φαρμακευτικά προϊόντα όλες οι άλλες ομάδες εμφανίζουν ζημία ύστερα από ένα path. Οι ομάδες των τροφίμων και των διαιτητικών προϊόντων έχουν όμοια κλίση. Όλες οι καμπύλες είναι γραμμικές, χωρίς έντονες διακυμάνσεις.

Η ομοιότητα της κλίσης των ομάδων των τροφίμων και των διαιτητικών προϊόντων συνεχίζεται στις καμπύλες της τυπικής τους απόκλισης. Μάλιστα εμφανίζουν την ίδια έντονη πτώση πριν το path 54. Η τυπική απόκλιση των φαρμακευτικών προϊόντων είναι η πιο έντονη και υψηλή. Μειώνεται απότομα πριν το path 80 όπως η καμπύλη της κερδοφορίας της. Το ίδιο συμβαίνει για την ομάδα των καλλυντικών αλλά η πτώση της είναι μικρότερη.

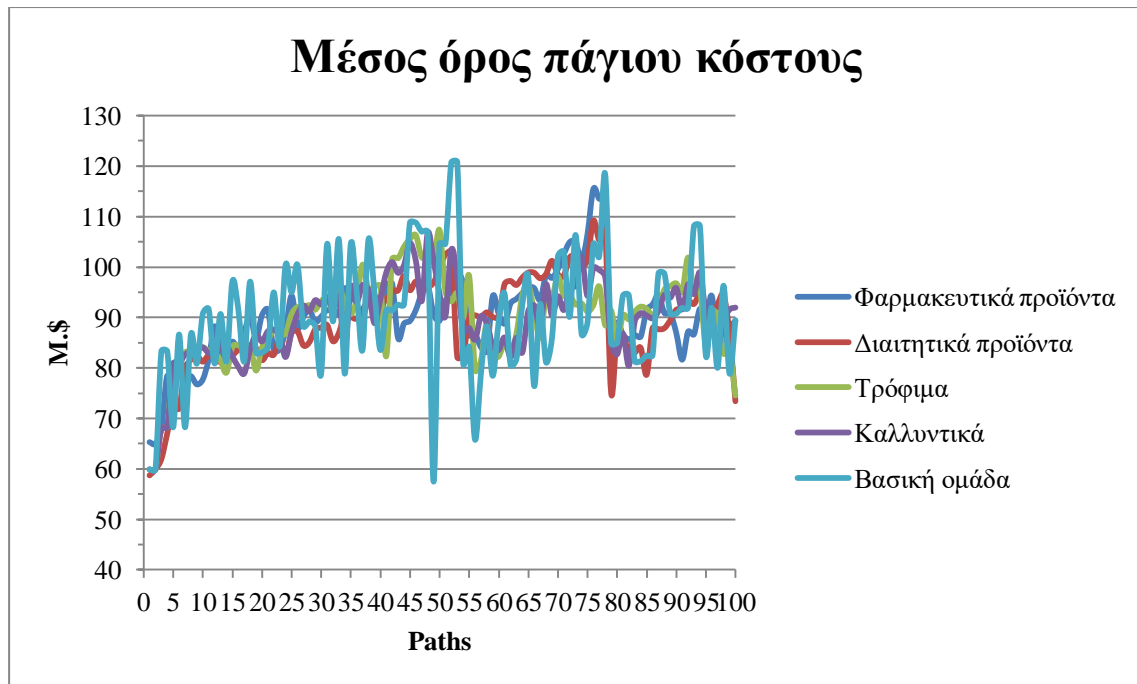


Σχήμα 60

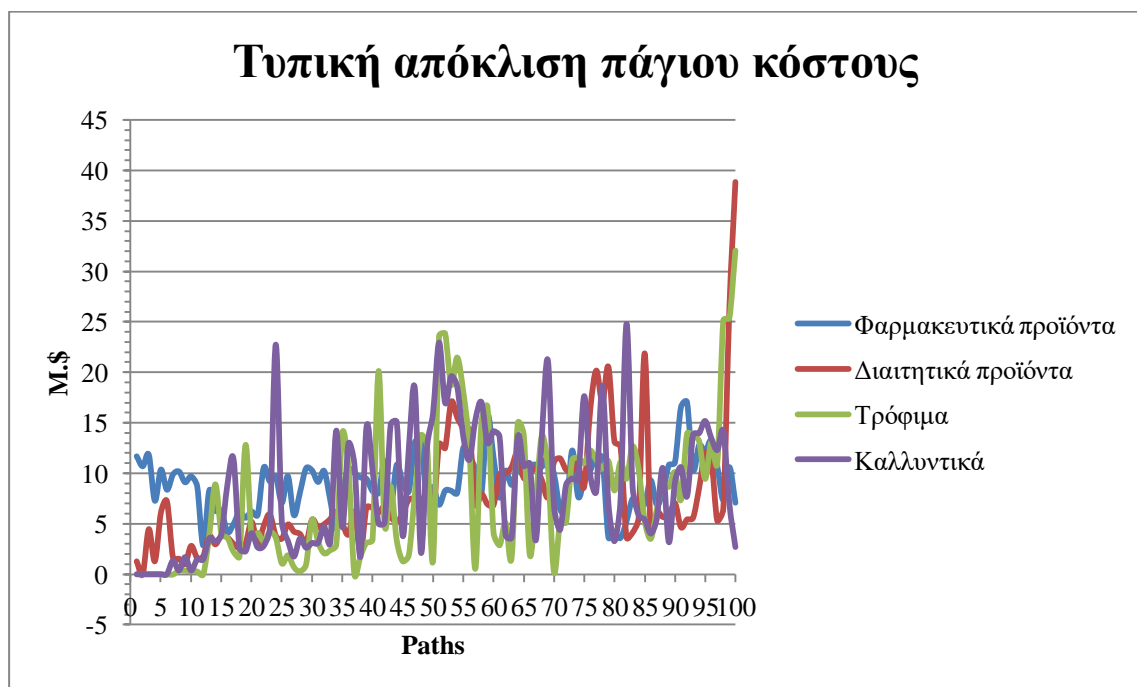


**Σχήμα 61**

Τα δύο παραπάνω διαγράμματα απεικονίζουν τα έσοδα και την τυπική απόκλιση του σεναρίου 2. Οι καμπύλες είναι λιγότερο ομαλές σε σχέση με την κερδοφορία. Η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων με λιγότερα προϊόντα καταφέρνει να έχει μεγαλύτερα έσοδα από την βασική ομάδα. Οι υπόλοιπες ομάδες κινήθηκαν στα ίδια επίπεδα εσόδων. Οι καμπύλες της τυπικής τους απόκλισης είναι με αρκετές διακυμάνσεις. Παρόλα αυτά οι διακυμάνσεις στις καμπύλες των εσόδων τους είναι λιγότερο έντονες σε σχέση με την βασική ομάδα.



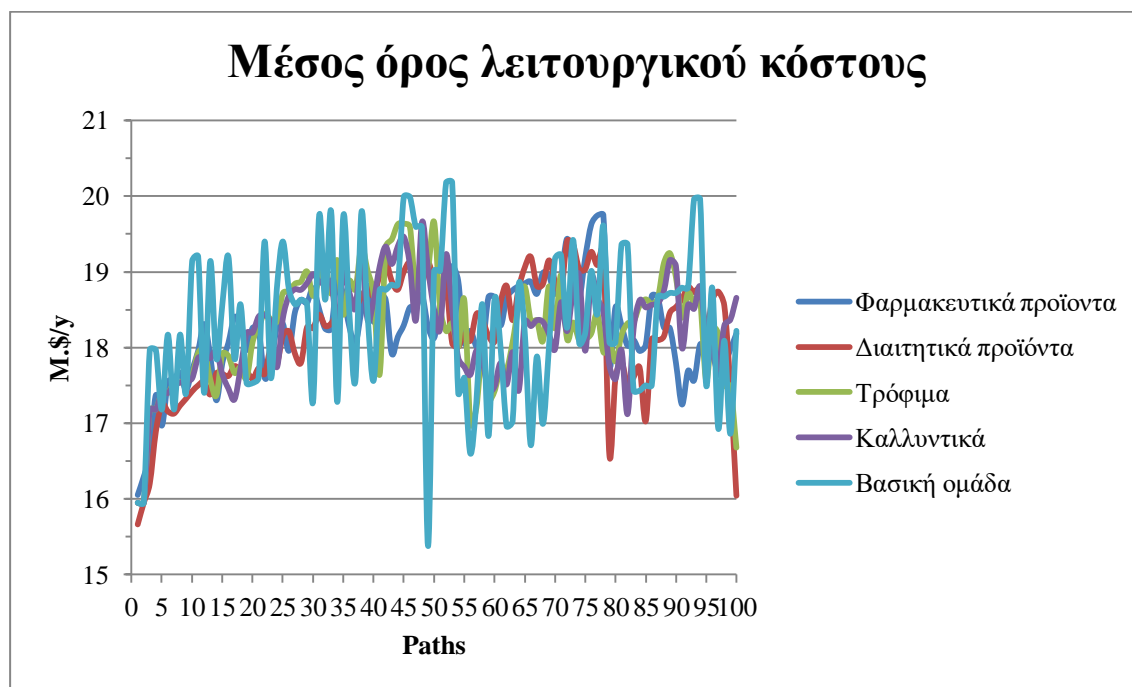
Σχήμα 62



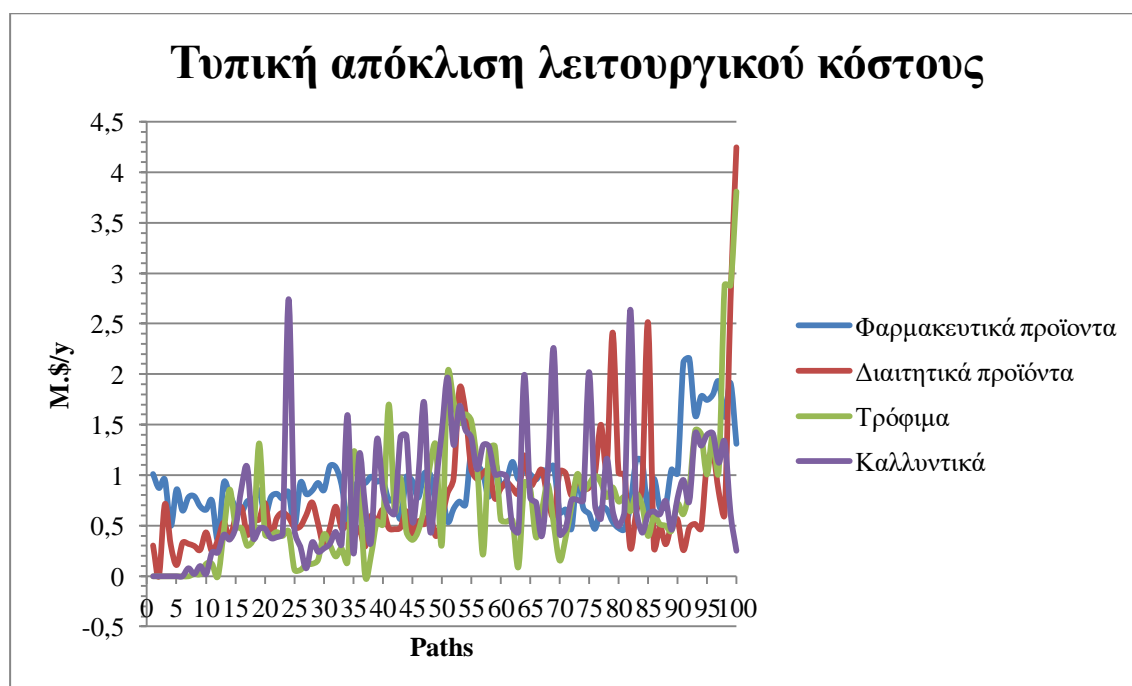
Σχήμα 63

Τα δύο παραπάνω σχήματα απεικονίζουν το πάγιο κόστος και την τυπική απόκλιση του. Οι καμπύλες των ομάδων είναι πιο στενές σε εύρος από την βασική ομάδα. Η βασική ομάδα έχει το μέγιστο και το ελάχιστο του διαγράμματος. Παρά το διαφορετικό μίγμα προϊόντων και τιμών πώλησης οι ομάδες που χωρίστηκαν τα προϊόντα κινούνται στο ίδιο επίπεδο τιμών ανά path. Το ύψος του πάγιου κόστους εξαρτάται από το path που έχει επιλέγει ελέω τον έντονων διακυμάνσεων. Η ομάδα

των φαρμακευτικών προϊόντων είχε ίδια διακύμανση τυπικής απόκλισης σε σχέση με τις άλλες ομάδες παρόλο που είχε την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση στα έσοδα και την κερδοφορία.



Σχήμα 64



Σχήμα 65

Στα σχήματα 64 και 65 απεικονίζεται το λειτουργικό κόστος για το σενάριο 2. Η βασική ομάδα έχει τις μεγαλύτερες και περισσότερες διακυμάνσεις επειδή έχει τα περισσότερα προϊόντα. Το εύρος του λειτουργικού κόστους βρίσκεται μεταξύ των

15,5 με 19,5 εκ. δολάρια ανά έτος για τις 4 ομάδες που χωρίστηκαν τα προϊόντα. Στα πρώτα 5 paths όλα τα σενάρια βρίσκονται πολύ κοντά με τις καμπύλες να ανοίγουν μετά από αυτό το σημείο. Γενικά η τυπική απόκλιση κινείται σε χαμηλά επίπεδα και δεν αλλάζει δραματικά την εικόνα για κάποιο σενάριο. Στα τελευταία paths γίνεται πιο απρόβλεπτη με εντονότερες τιμές. Συνεπώς τα πρώτα paths έχουν μεγαλύτερη σταθερότητα και δίνουν καλύτερη εικόνα της πραγματικότητας λόγω της χαμηλής τυπικής απόκλισης και του γεγονότος ότι συγκλίνουν όλες οι ομάδες στο ίδιο λειτουργικό κόστος.



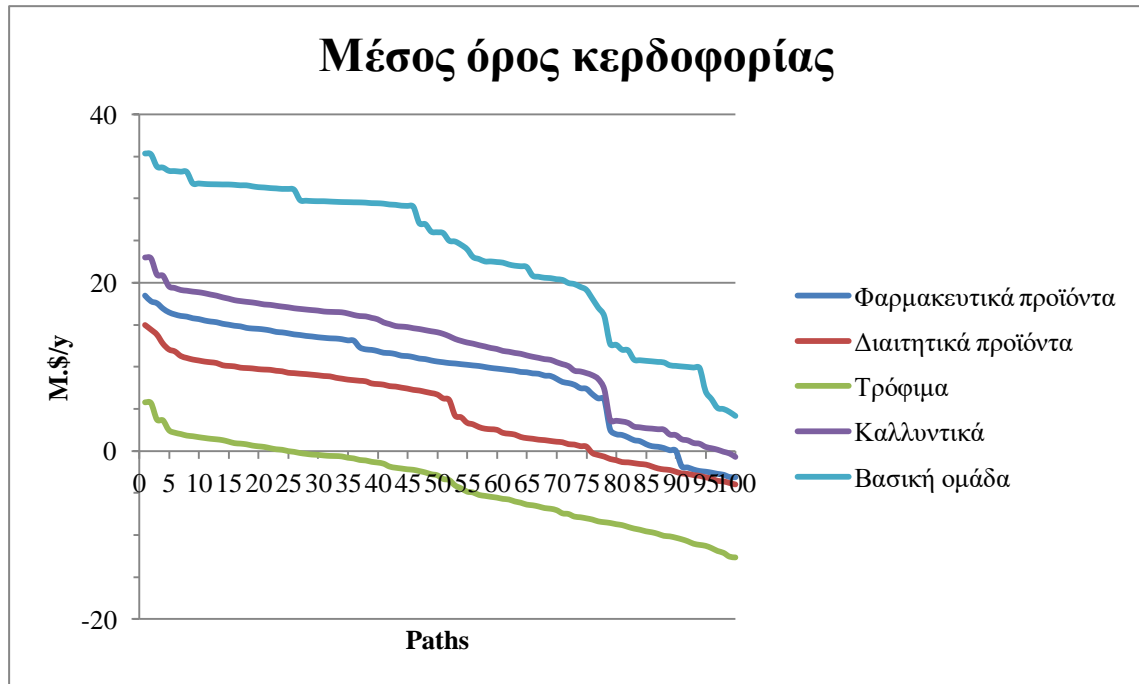
**Σχήμα 66**

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση για την ομάδα των καροτενοειδών και των χλωροφυλλών. Τα καροτενοειδή έχουν ένα σκληρό όριο όπου πολύ δύσκολα πέφτουν κάτω από 90% ανεξάρτητος της διακύμανσης των τιμών των προϊόντων. Οι χλωροφύλλες που συχνά έχουν παραπλήσια τιμή από τα καροτενοειδή κυμαίνονται γύρω στο 70%. Παρόλα αυτά τα καροτενοειδή δεν είχαν ποσοστό εμφάνισης 100% σε κάποιο από τα σενάρια, εκτός φυσικά της βασικής ομάδος. Οι πρωτεΐνες και η γλυκερόλη εμφανίζονται περιστασιακά εξαιτίας της χαμηλής τους αξίας σε σχέση με τα άλλα προϊόντα. Οι βιταμίνες και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα εμφανίζονται περιστασιακά αλλά

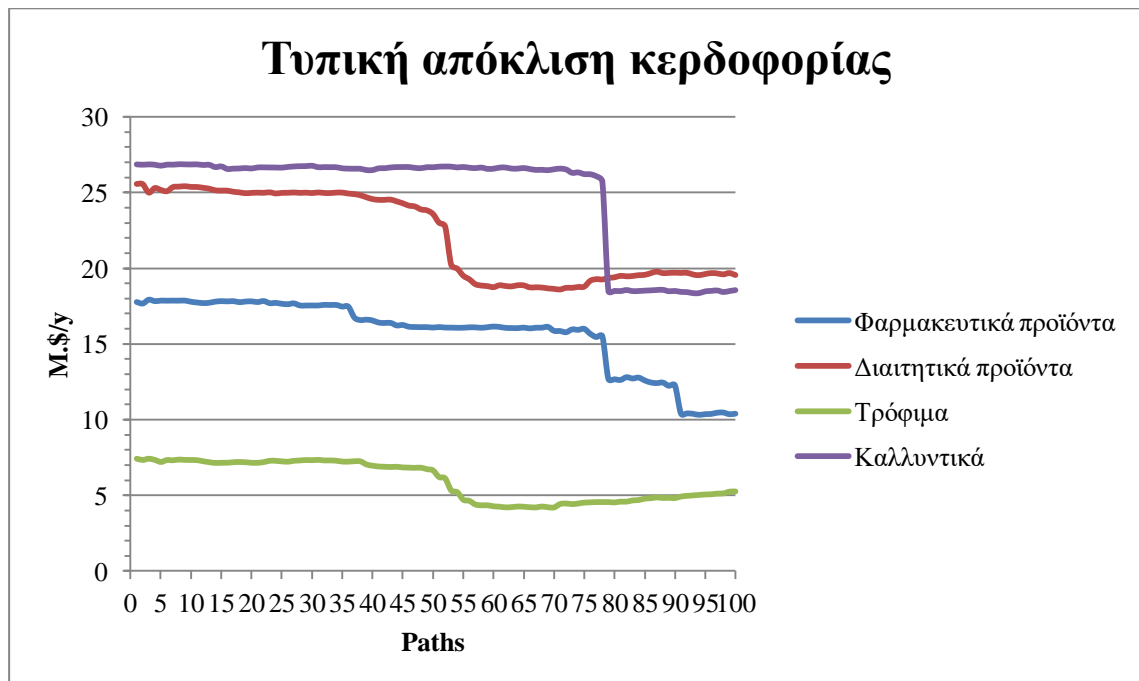


μπορούν να ξεπεράσουν σε ποσοστό εμφάνισης τις χλωροφύλλες με τις κατάλληλες συνθήκες.

### 6.7. Διαγράμματα για το σενάριο 3

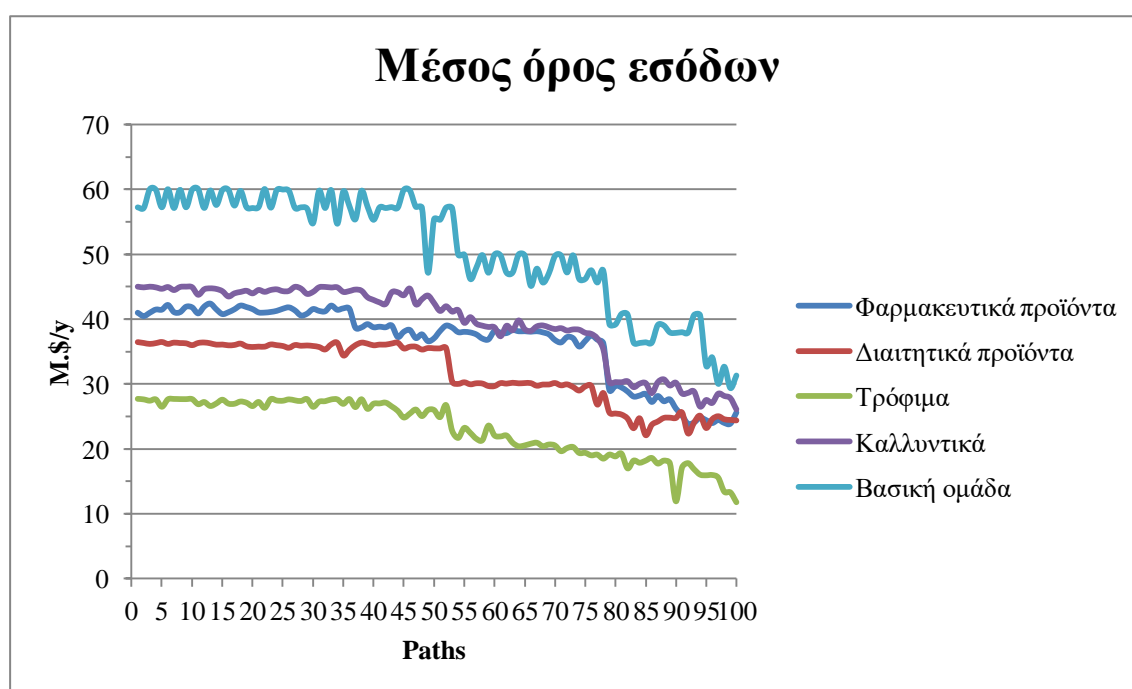


Σχήμα 67

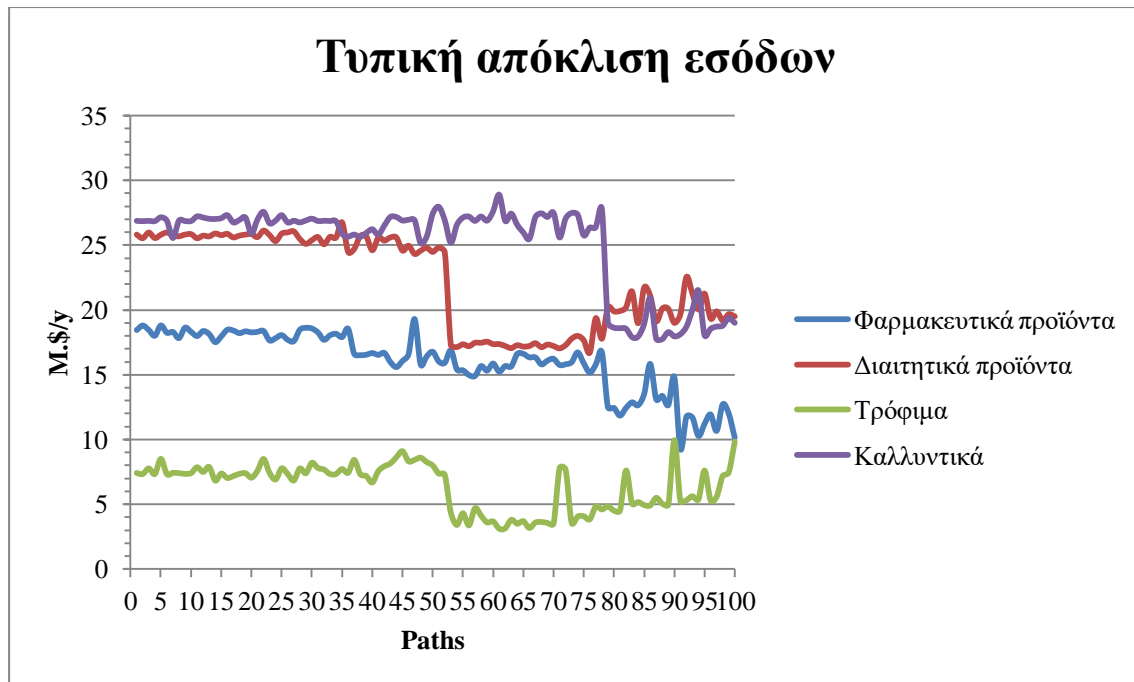


Σχήμα 68

Στα διαγράμματα 67 και 68 εμφανίζεται η κερδοφορία και η τυπική της απόκλιση για το σενάριο 3. Η βασική ομάδα είναι η πλέον κερδοφόρα με σημαντική απόσταση από τις υπόλοιπες. Οι υπόλοιπες ομάδες καταλήγουν να είναι ζημιογόνες ύστερα από ένα path. Επίσης η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων και η ομάδα των καλλυντικών πριν γίνουν ζημιογόνες εμφανίζουν μια μεγάλη πτώση πριν το path 80. Μάλιστα εξαιτίας αυτής της πτώσης για ένα διάστημα οι δύο ομάδες έχουν την ίδια τιμή, μέχρι η ομάδα των καλλυντικών να ξαναγίνει πιο κερδοφόρα. Αυτή η απότομη πτώση εμφανίζεται στο διάγραμμα της τυπικής απόκλισης τους. Ο χαμηλός παράγοντας τοποθεσίας τα οδηγεί σε αρκετά λιγότερο κερδοφόρες λύσεις εάν η τυπική απόκλιση δεν είναι μεγάλη όπως για παράδειγμα στην ομάδα τροφίμων.

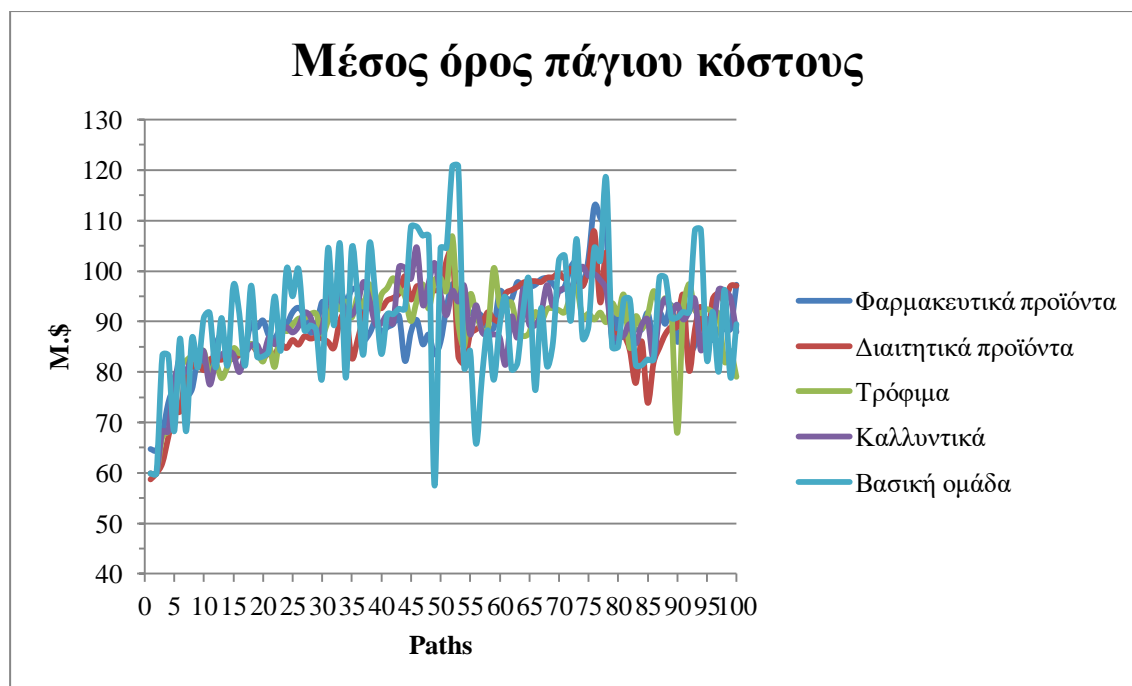


Σχήμα 69

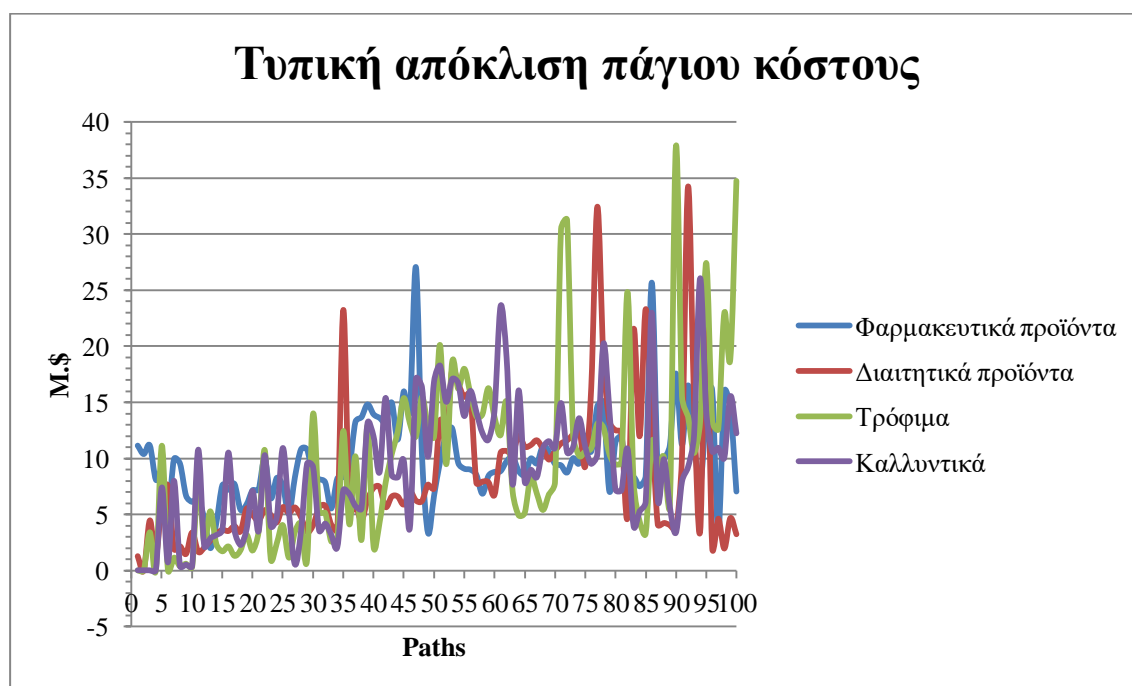


**Σχήμα 70**

Στα δύο παραπάνω διαγράμματα εμφανίζονται τα έσοδα και η τυπική τους απόκλιση. Παρά την απόσταση της κερδοφορίας της βασικής ομάδας από τις υπόλοιπες ομάδες τα έσοδα της έχουν μικρότερη απόσταση. Αυτό είναι πιο φανερό στα path 80 και 99. Αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με το γεγονός ότι οι ομάδες έχουν λιγότερα προϊόντα από την βασική ομάδα, οπότε θα περίμενε κανείς λιγότερα προϊόντα αναλογικά μεγαλύτερη κερδοφορία για ίδια έσοδα. Όπως έχει ξανά αναφερθεί τα έσοδα έχουν λιγότερη ομαλότητα από την κερδοφορία. Οι καμπύλες των εσόδων και η σειρά των ομάδων είναι κοντά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αγορών που κινούνται και η εικόνα τους θεωρείται προβλέψιμη. Τέλος η ομάδα των καλλυντικών εμφανίζει ελαφρά μεγαλύτερα έσοδα από τα φαρμακευτικά προϊόντα με τίμημα αρκετά μεγαλύτερη τυπική απόκλιση.



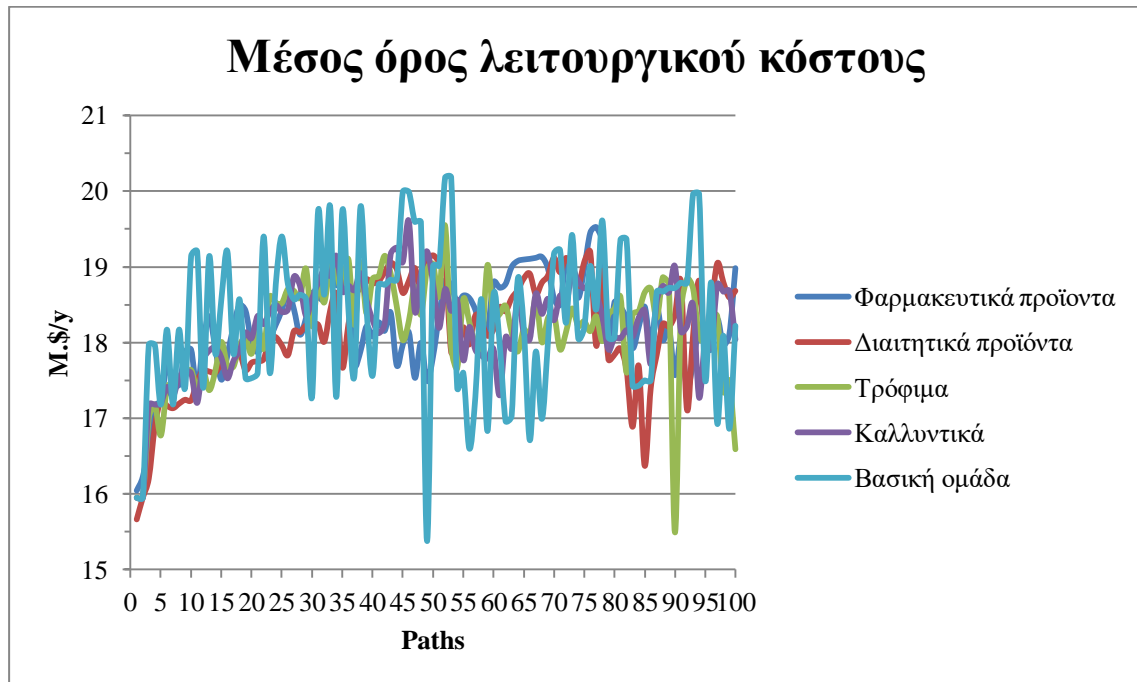
Σχήμα 71



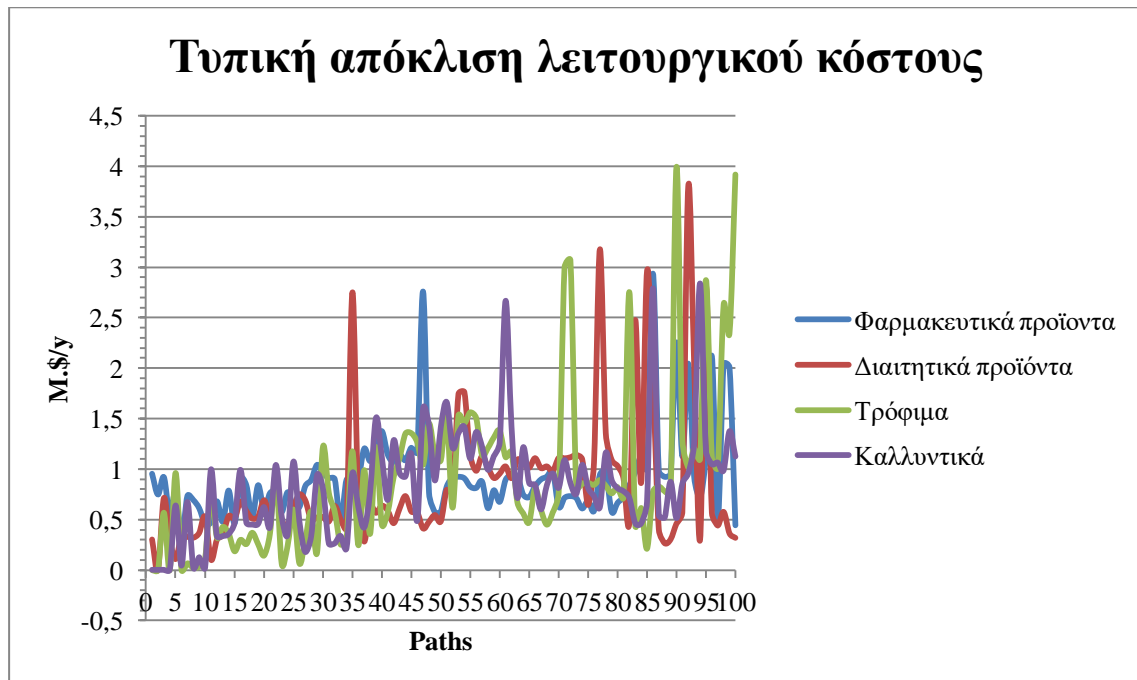
Σχήμα 72

Στα σχήματα 71 και 72 απεικονίζεται το πάγιο κόστος και η τυπική του απόκλιση. Το πάγιο κόστος έχει στενό εύρος με τις διάφορες καμπύλες των ομάδων ως επί το πλείστον να έχουν παρεμφερείς τιμές ανά path. Το ίδιο συμβαίνει με την τυπική απόκλιση του πάγιου κόστους να ξεκίνα με χαμηλή διακύμανση που γίνεται εντονότερη καθώς αυξάνεται ο αριθμός των paths. Η βασική ομάδα έχει τις περισσότερες και εντονότερες διακυμάνσεις εξαιτίας του πλήθους των προϊόντων της.

Στο μεγαλύτερο του εύρος οι καμπύλες κινούνται μεταξύ 80 με 100 εκ. δολάρια. Αυτό συμβαίνει αφού όλες οι καμπύλες πρακτικά μαζί ξεκινούν από λίγο κάτω τα 60 εκ. δολάρια για να φτάσουν γρήγορα στα 80 εκ. δολάρια.



Σχήμα 73

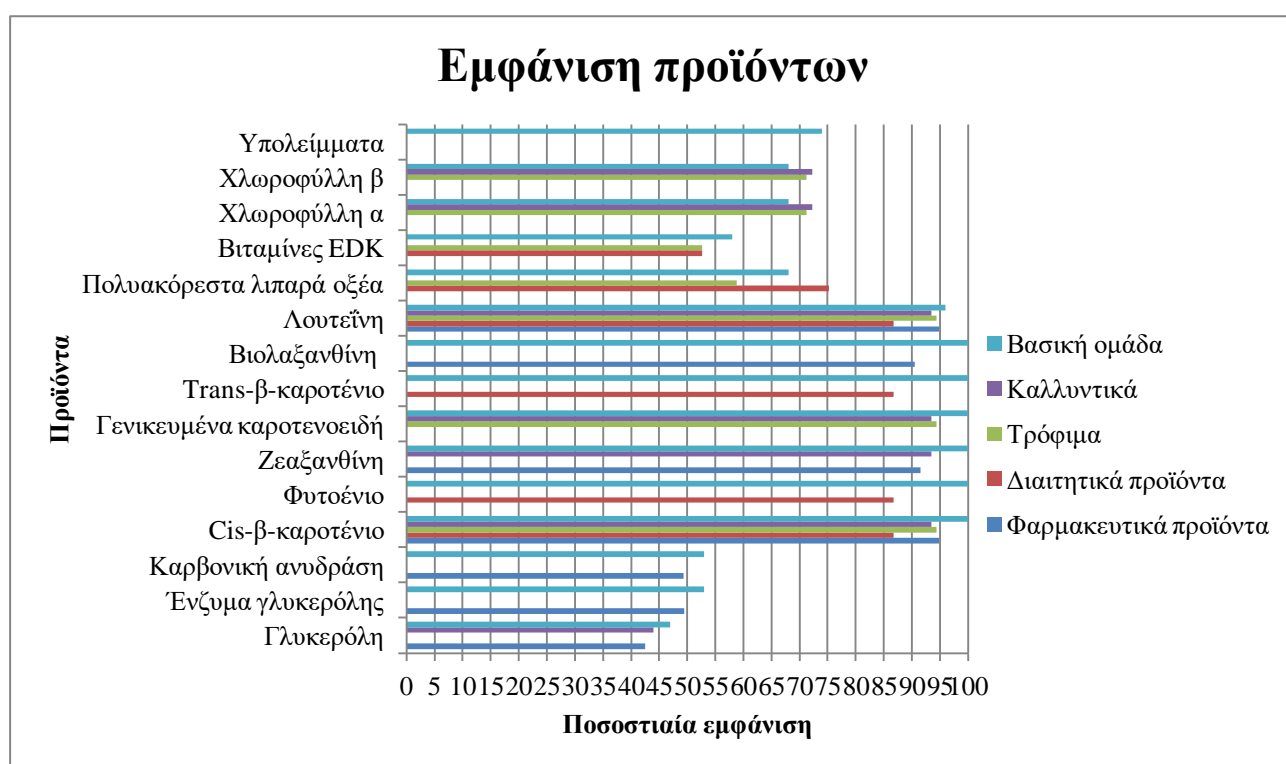


Σχήμα 74

Το λειτουργικό κόστος και η τυπική του απόκλιση όπως υπολογίστηκε για το σενάριο 3 απεικονίζεται στα δύο παραπάνω σχήματα. Η τυπική του απόκλιση είναι πολύ μικρή μέχρι τα πρώτα 70 paths με λίγες έντονες εξαιρέσεις που η τυπική

απόκλιση χαρακτηρίζεται μέτρια. Στα τελευταία 30 paths η τυπική απόκλιση παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Ένας από τους λόγους είναι η ζημιογόνος εικόνα των ομάδων εκεί που τις οδηγεί στην ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους ώστε να περιορίσουν την ζημία σε τίμημα της αύξησης της τυπικής απόκλισης.

Η εικόνα των καμπύλων του λειτουργικού κόστους είναι με στενό εύρος. Όλες οι ομάδες παραμένουν μεταξύ 17 με 19 εκ. δολάρια ανά έτος για το μεγαλύτερο μέρος του διαγράμματος. Αυτό σε συνδυασμό με το ότι ξεκινάνε χαμηλότερα από τα 17 εκ. δολάρια ανά έτος στα πρώτα 5 paths με χαμηλή τυπική απόκλιση καθιστά το λειτουργικό κόστος ως 19 εκ. δολάρια ανά έτος μια ασφαλής εκτίμηση για το μελλοντικό κόστος στις συνθήκες που υπολογίστηκαν.

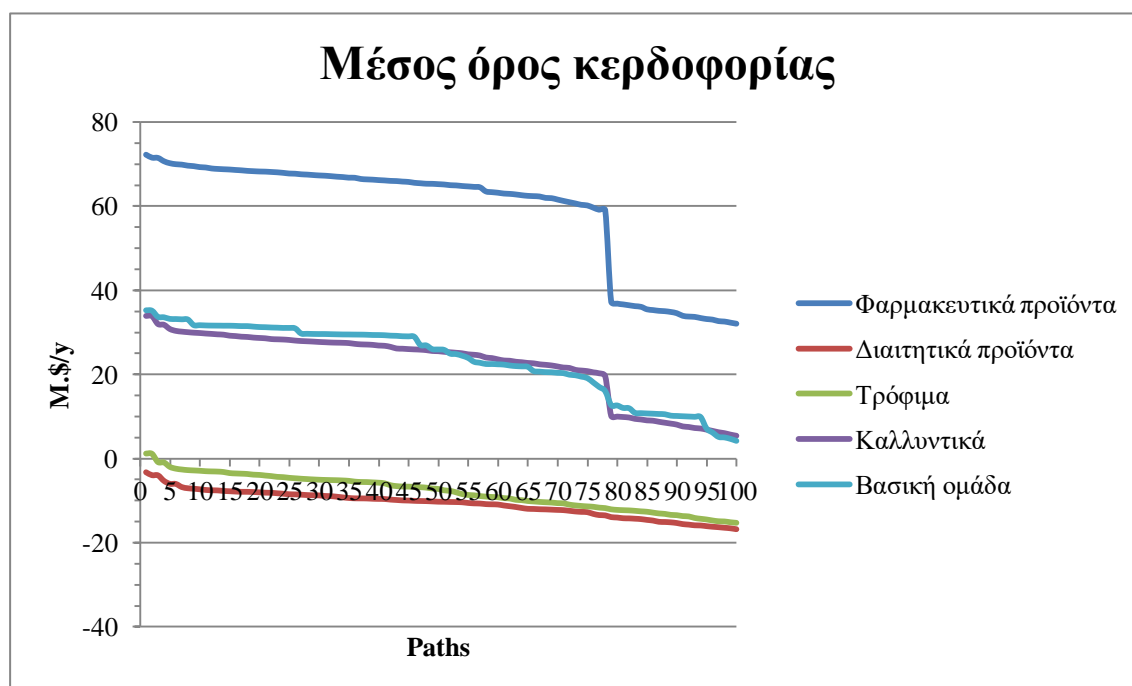


**Σχήμα 75**

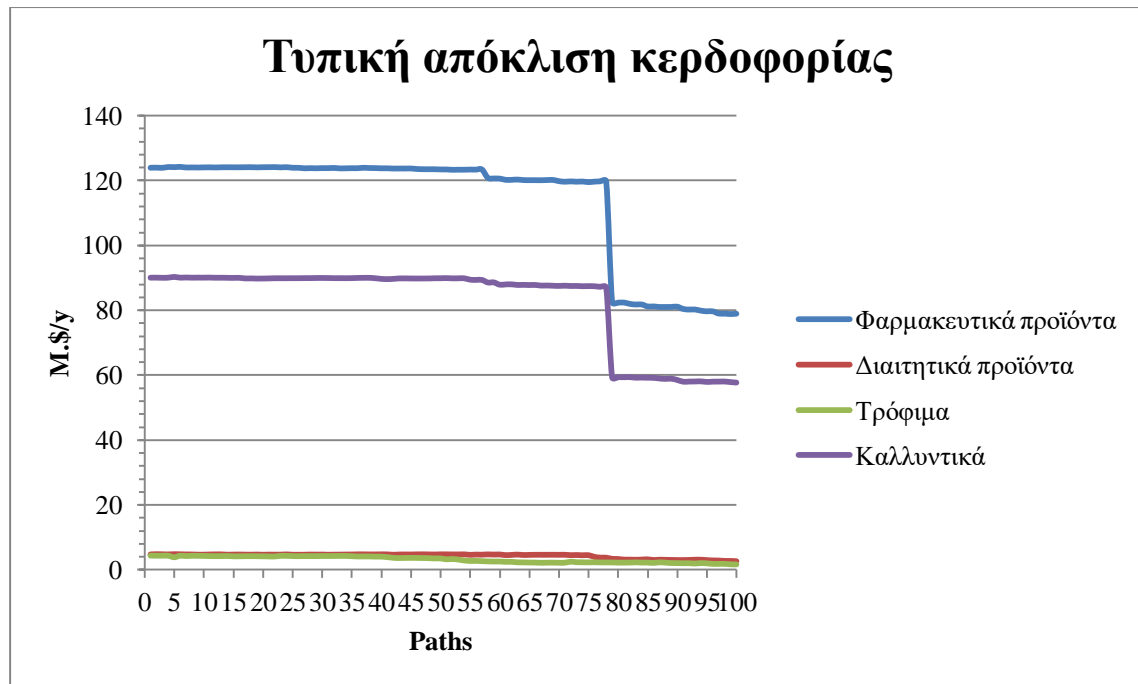
Στο σχήμα 75 παρουσιάζεται η εμφάνιση προϊόντων για το σενάριο 3. Οι πρωτεΐνες όπως σε όλα τα σενάρια παράγονται περιστασιακά. Τα καροτενοειδή εμφανίζουν μεγάλη πτώση για τα δεδομένα τους αφού έχουν ένα σκληρό όριο όπου πολύ δύσκολα πέφτουν κάτω από 90% και όταν πέφτουν όχι έντονα. Έτσι το ότι η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων έπεσε στο 85% είναι εντυπωσιακό. Οι χλωροφύλλες είδαν ελαφρά παραγωγή μεγαλύτερη από την βασική ομάδα. Παρόλα αυτά δεν μπόρεσαν να προσεγγίσουν ούτε καν την εμφάνιση των καροτενοειδών της ομάδας των διαιτητικών προϊόντων. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είδαν την μέγιστη εμφάνιση

τους για την ομάδα των διαιτητικών προϊόντων ενώ το ίδιο δεν έγινε για τις βιταμίνες που είδαν την μέγιστη αύξηση της τιμής τους στο πείραμα (με τιμή πώλησης αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη της αρχικής). Επομένως οι βιταμίνες εμφανίζουν ένα σκληρό όριο που πολύ δύσκολα μπορούν να ξεπεράσουν, ενώ τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα έχουν υψηλότερο «σκληρό» όριο. Το υψηλότερο «σκληρό» όριο τους τα καθιστά ικανά να ανταγωνιστούν σε εμφάνιση της χλωροφύλλης. Καμία ομάδα που χωρίστηκαν τα προϊόντα δεν εμφάνισε 100% παραγωγή κάποιου προϊόντος όπως η βασική ομάδα.

## 6.8. Διαγράμματα για το σενάριο 4



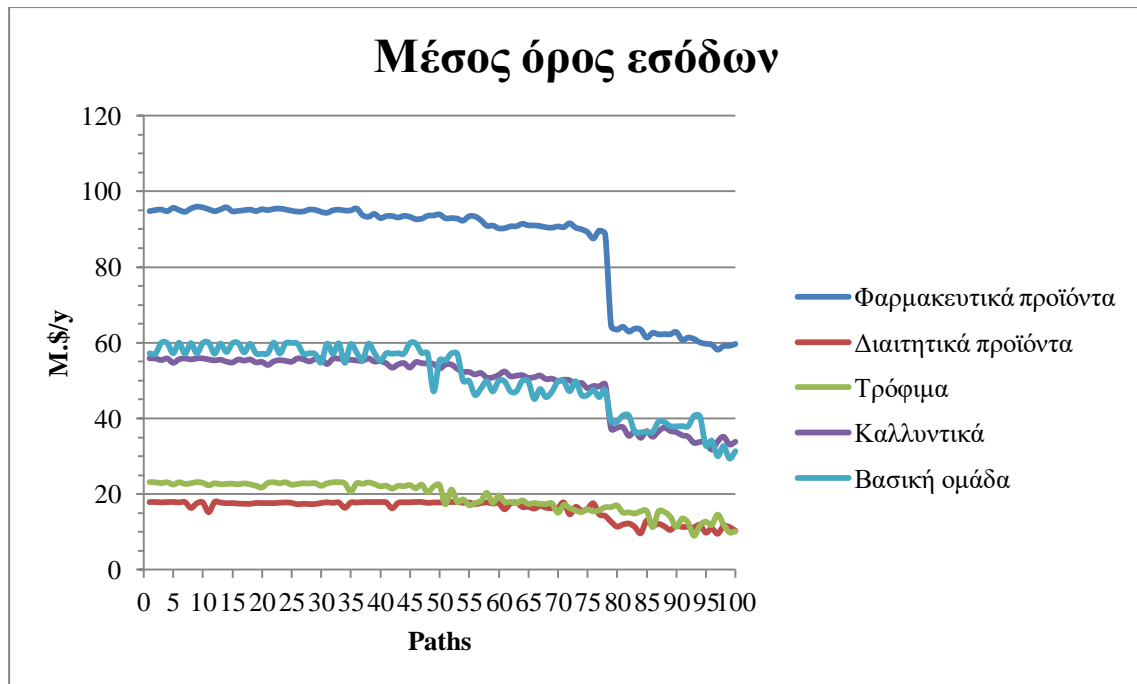
Σχήμα 76



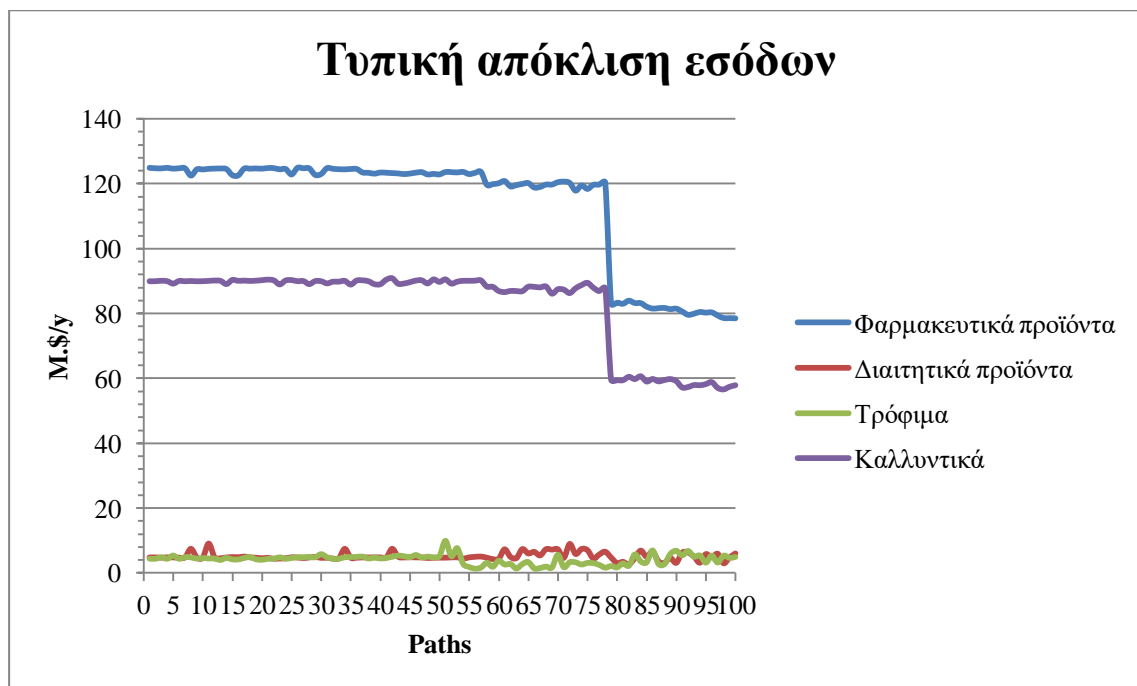
**Σχήμα 77**

Τα σχήματα 76 και 77 απεικονίζουν το κέρδος και την τυπική του απόκλιση για το σενάριο 4. Εξαιτίας του χαμηλού παράγοντα τοποθεσίας η ομάδα τροφίμων είναι ζημιογόνα (με εξαίρεση τα πρώτα 2 paths) καθώς επίσης και η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων. Αυτό το επιβεβαιώνει η καμπύλη της τυπικής τους απόκλισης που είναι σχεδόν παράλληλη στον άξονα  $\chi$  και σε πολύ κοντινή από αυτόν απόσταση. Οι ομάδες των φαρμακευτικών προϊόντων και των καλλυντικών εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή τυπική απόκλιση που τις οδήγησε στο να έχουν μεγαλύτερη ή ίση κερδοφορία από την βασική ομάδα. Χωρίς την υψηλή αύξηση της τιμής πώλησης των προϊόντων τους αυτό δεν θα ήταν δυνατό. Η έντονη πτώση στο path 79 για τις δύο προαναφερθέντες ομάδες στα δύο διαγράμματα επανεμφανίζεται και εδώ. Όσο χαμηλότερα ξεκινάει το ύψος της κερδοφορίας τόσο μικραίνει η τελική πτώση, για τα προϊόντα, ενώ με ζημία δεν εμφανίζεται καν. Αυτή η πτώση δεν οφείλεται σε ξαφνικό σταμάτημα παραγωγής ενός ή περισσότερων προϊόντων.





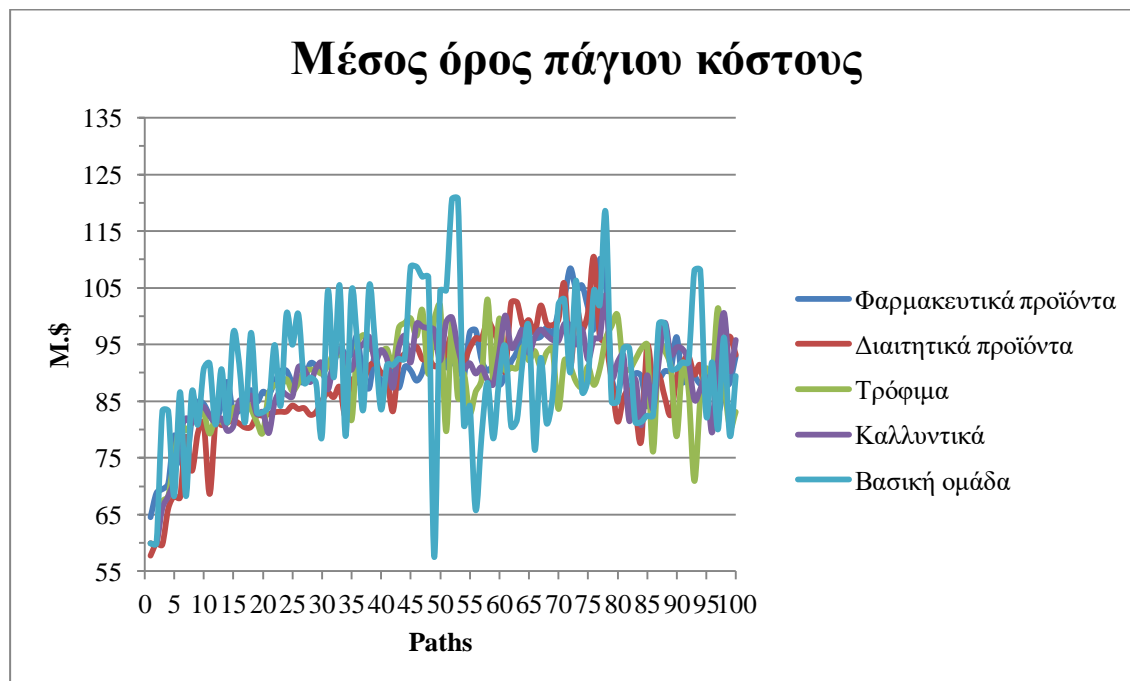
Σχήμα 78



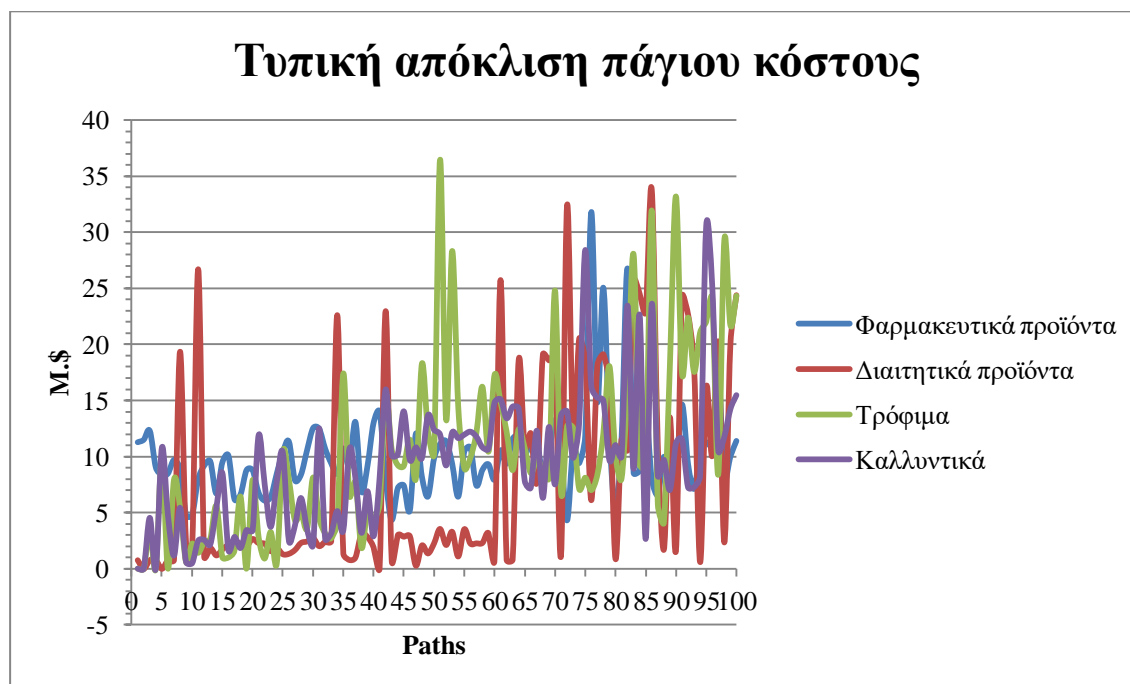
Σχήμα 79

Τα δύο παραπάνω διαγράμματα εμφανίζουν τα έσοδα και την τυπική τους απόκλιση για το υπό μελέτη σενάριο. Όπως η κερδοφορία έτσι αυτά εμφανίζουν απότομη πτώση στο ύψος των εσόδων πριν το path 79. Αυτό συμβαίνει για την βασική ομάδα, τα διαιτητικά και φαρμακευτικά προϊόντα. Λόγω του λειτουργικού κόστους αυτή η έντονη πτώση για το ύψος των εσόδων δεν ήταν αισθητή στην καμπύλη της κερδοφορίας. Το βιοδιωλιστήριο με έσοδα λιγότερα από 25εκ. δολάρια ανά έτος είναι

ζημιογόνο. Τα καλλυντικά έχουν όμοια κερδοφορία και έσοδα με την βασική ομάδα παρά το γεγονός ότι έχουν πολύ λιγότερα προϊόντα.



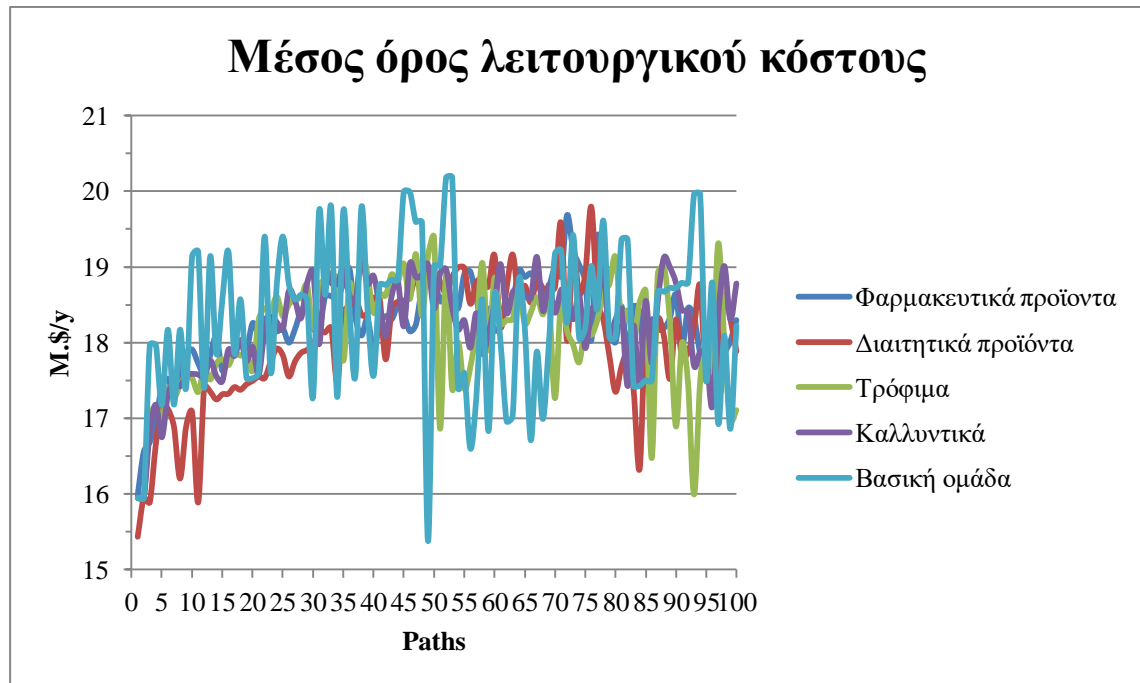
Σχήμα 80



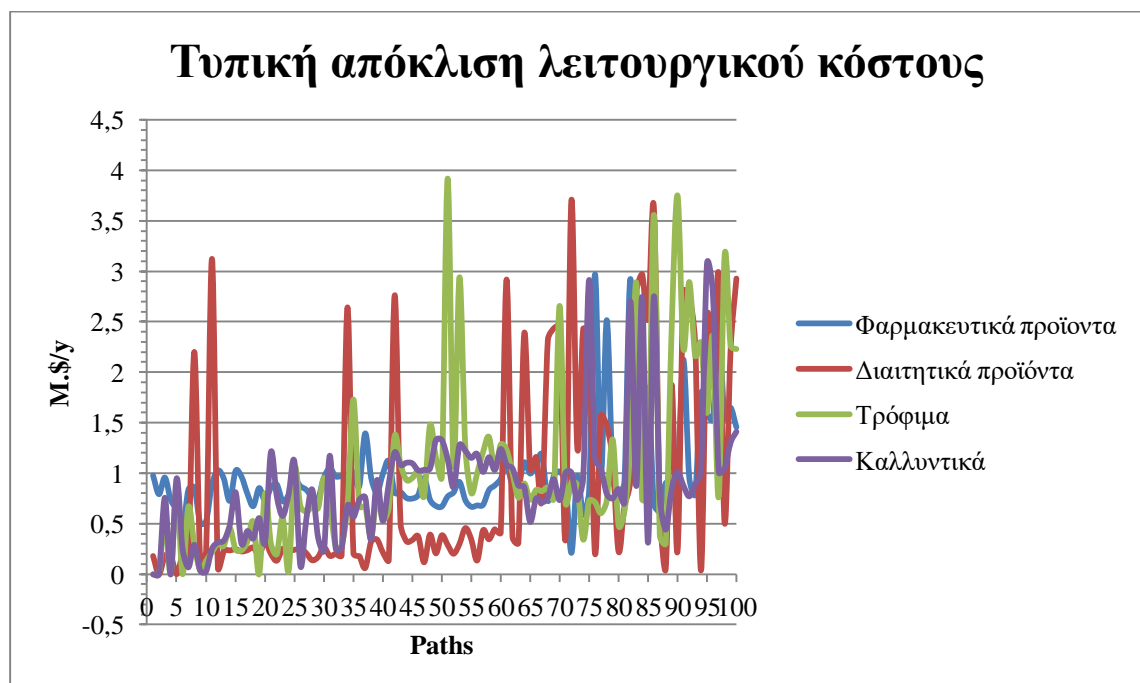
Σχήμα 81

Τα σχήματα 80 και 81 απεικονίζουν το πάγιο κόστος και την τυπική του απόκλιση που υπολογίστηκαν για το σενάριο 4. Όπως φαίνεται στα γραφήματα τα δύο αυτά μεγέθη ξεκινούν χαμηλά αλλά σύντομα αυξάνονται. Το πάγιο κόστος ξεκινά από ένα ύψος των 55εκ. δολάρια για να αυξηθεί γρήγορα στα 80 εκ. δολάρια σε λιγότερο από

30 paths. Μετά τα πρώτα 50 paths η τυπική απόκλιση συναντά εντονότερες διακυμάνσεις. Το πάγιο κόστος παρά τις διακυμάνσεις ως επί το πλείστον βρίσκεται σε ένα εύρος μεταξύ 75 με 105 εκ. δολάρια. Η βασική ομάδα έχει τις εντονότερες διακυμάνσεις πάγιου κόστους μαζί με το μέγιστο και ελάχιστο του γραφήματος.



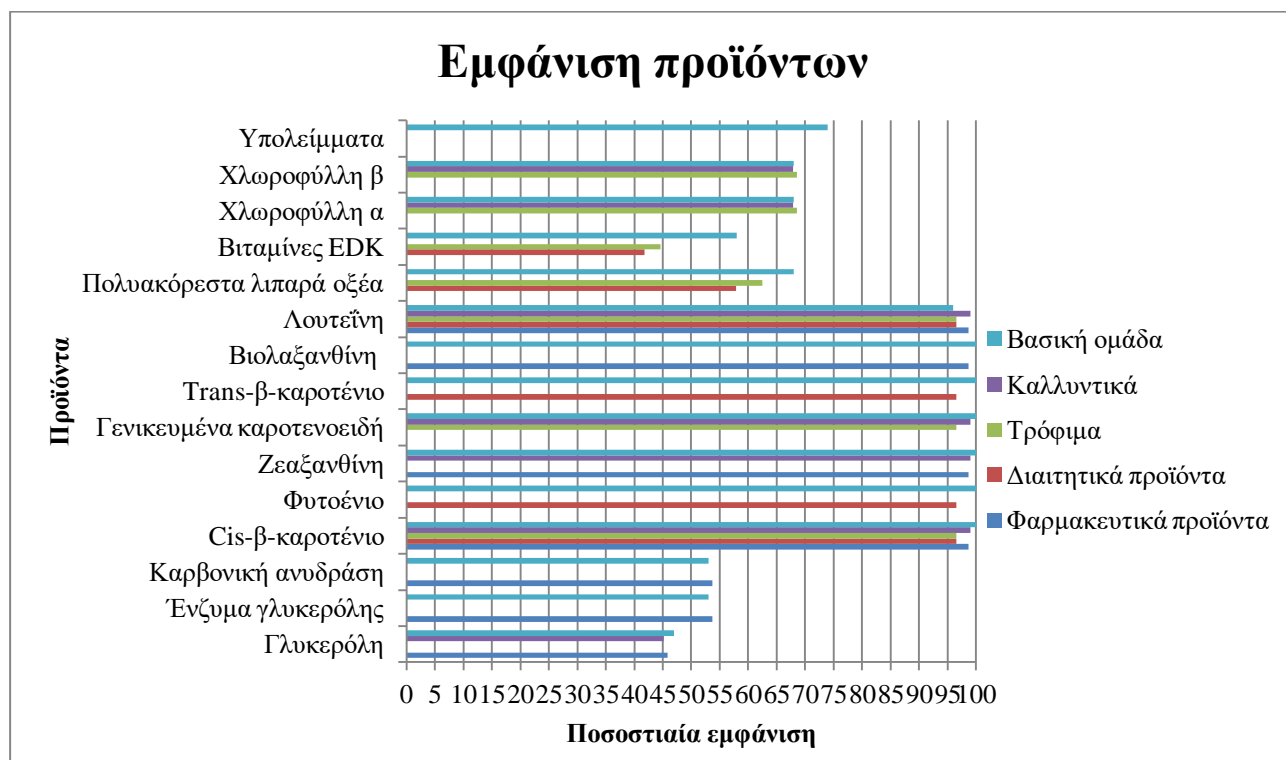
Σχήμα 82



Σχήμα 83

Στα σχήματα 82 και 83 φαίνεται το λειτουργικό κόστος και η τυπική του απόκλιση. Η τυπική του απόκλιση είναι μικρή αλλά έχει σημαντικές διακυμάνσεις. Το ύψος των

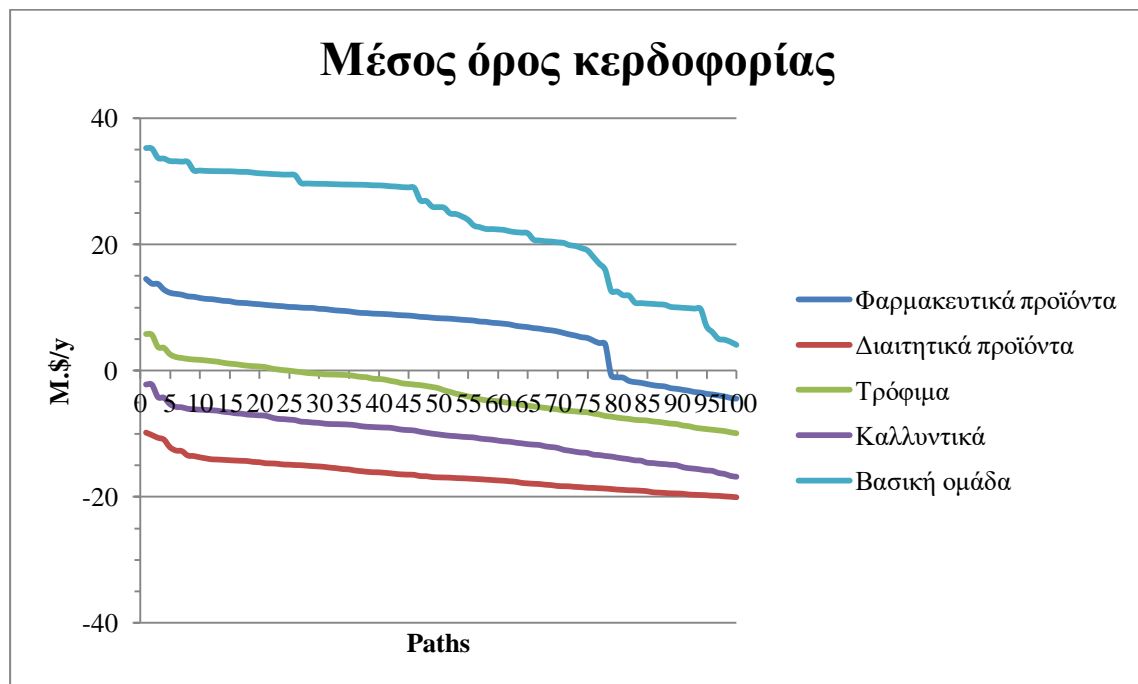
διακυμάνσεων της απόκλισης φτάνει ως επί το πλείστον τα 3 εκ.\$ ανά έτος. Το λειτουργικό κόστος ξεκινάει χαμηλά για όλες τις ομάδες και στο ίδιο επίπεδο αλλά γρήγορα αυξάνεται, έπειτα συναντά συνέχεις διακυμάνσεις. Η βασική ομάδα που έχει όλα τα προϊόντα έχει τις εντονότερες διακυμάνσεις και το μέγιστο και ελάχιστο του διαγράμματος. Οι ζημιογόνες ομάδες των τροφίμων και των διαιτητικών προϊόντων έχουν εντονότερες διακυμάνσεις από τα κερδοφόρα φαρμακευτικά προϊόντα και τα καλλυντικά.



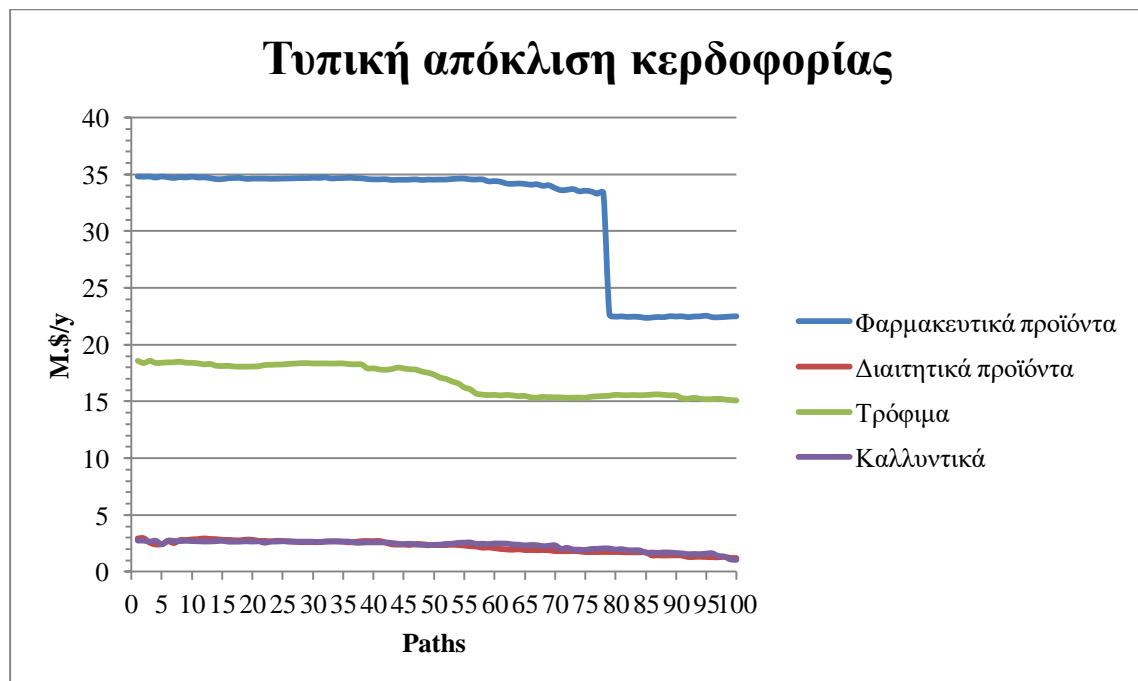
**Σχήμα 84**

Στο σχήμα 84 παρουσιάζεται η εμφάνιση προϊόντων του σεναρίου. Οι πρωτεΐνες και η γλυκερόλη παράγονται περιστασιακά χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές στις διάφορες ομάδες. Το ίδιο συμβαίνει για τις χλωροφύλλες που κινούνται στο σύνηθες για αυτές ποσοστό εμφάνισης. Οι βιταμίνες και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα εμφανιστήκαν λιγότερο από ότι σε σχέση με την βασική ομάδα παρόλο που η βασική ομάδα βασίζεται σε όλα τα προϊόντα. Τέλος τα καροτενοειδή με τα συνήθη υψηλά ποσοστά εμφάνισης, όλα παράγονται τουλάχιστον στο 95%. Οι εμφάνιση των προϊόντων κρίθηκε προβλέψιμη δίχως εκπλήξεις και πολλές έντονες διακυμάνσεις.

## 6.9. Διαγράμματα για το σενάριο 5



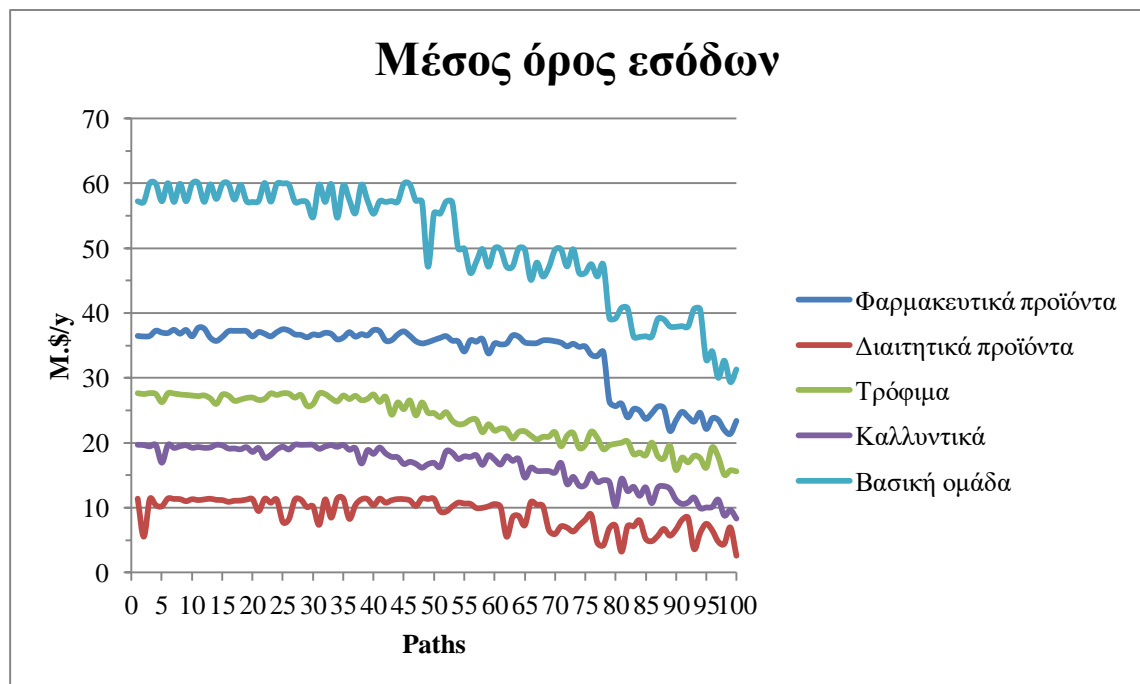
Σχήμα 85



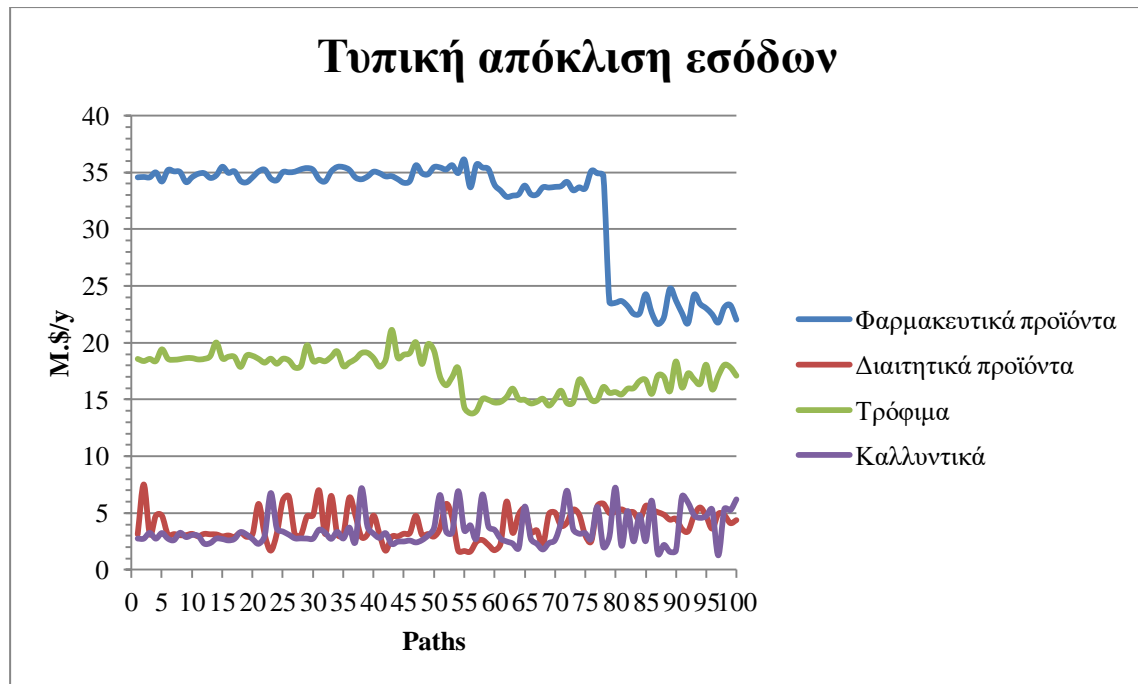
Σχήμα 86

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η κερδοφορία και η τυπική απόκλιση της για το σενάριο 5. Το σενάριο 5 έχει τον χαμηλότερο παράγοντα τοποθεσίας. Εξαιτίας αυτού παρατηρούνται οι πλέον λιγότερο κερδοφόρες καμπύλες, που βρίσκονται αρκετά πιο κάτω από το ύψος της βασικής ομάδας. Τα διαιτητικά προϊόντα και τα

καλλυντικά είναι ζημιογόνα για όλα τα paths. Μάλιστα η καμπύλη των διαιτητικών προϊόντων είναι η πλέον ζημιογόνα για όλα τα σενάρια και τις ομάδες. Η καμπύλη των τροφίμων συμπεριφέρεται καλύτερα όντας κερδοφόρα για λίγα paths. Αυτό όμως οφείλεται στην υπολογίσιμη τυπική απόκλιση που έχει με συνέπεια να την απομακρύνει από το κέντρο του παράγοντα τοποθεσίας. Τέλος η μόνη ομάδα που ήταν περισσότερο κερδοφόρα παρά ζημιογόνα στα περισσότερα paths ήταν αυτή των φαρμακευτικών προϊόντων. Η υψηλή της τυπική απόκλιση την οδήγησε εκεί. Η έντονη πτώση της ομάδας στο path 79 επανεμφανίζεται εδώ και στα δύο διαγράμματα.

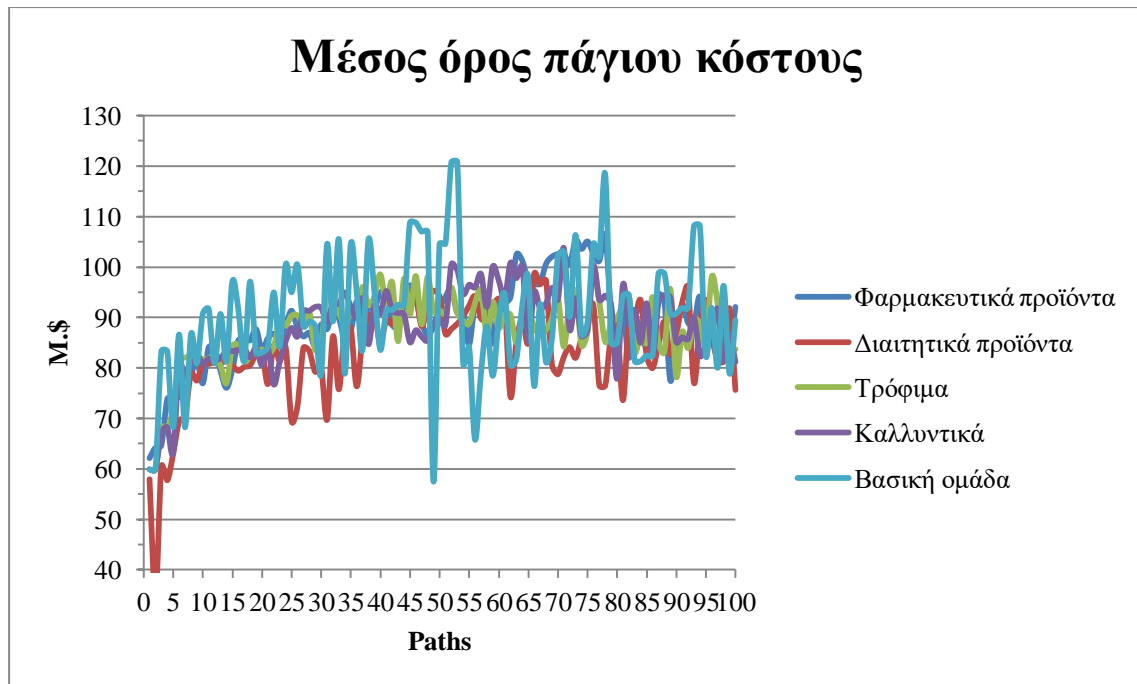


Σχήμα 87

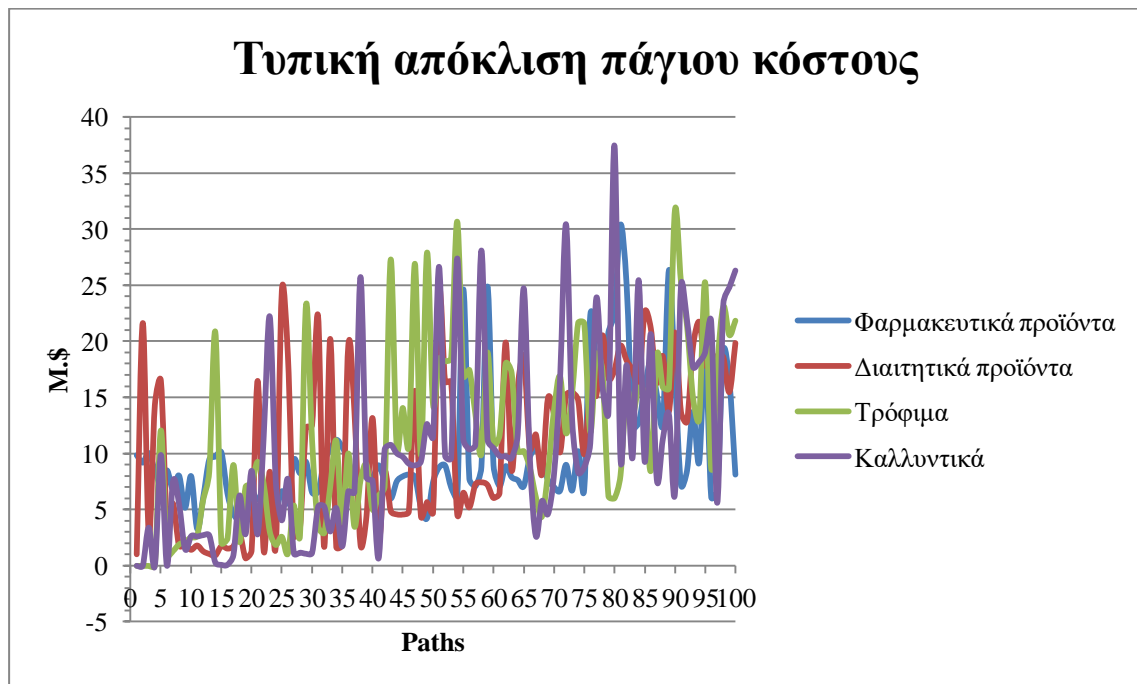


**Σχήμα 88**

Τα έσοδα παρουσιάζονται στο σχήμα 87 και η τυπική τους απόκλιση στο σχήμα 88. Τα έσοδα της ομάδας των διαιτητικών προϊόντων, είναι πάρα πολύ χαμηλά. Στα τελευταία paths υποχωρούν κάτω από το φράγμα των 5 εκ. δολαρίων ανά έτος. Σε καλύτερη κατάσταση βρίσκονται αυτά της ομάδας των καλλυντικών αλλά δεν είναι αρκετά για να οδηγήσουν την ομάδα στην κερδοφορία. Χρειάζεται να βρεθεί στο ύψος της ομάδας των τροφίμων στα 27,704 εκ. δολάρια ανά έτος για να επέλθει κερδοφορία. Παρότι η ομάδα έμεινε σταθερή σε αυτό το ύψος εσόδων η αύξηση του λειτουργικού κόστους την οδήγησε στην ζημία. Η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων έχει τα μεγαλύτερα έσοδα του σεναρίου και την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση. Επανεμφανίζει την γνωστή πτώση στο path 79 στα δύο εξεταζόμενα διαγράμματα. Η βασική ομάδα έχει τα μεγαλύτερα έσοδα παρόλα αυτά το χάσμα μειώνεται στο τέλος.



Σχήμα 89

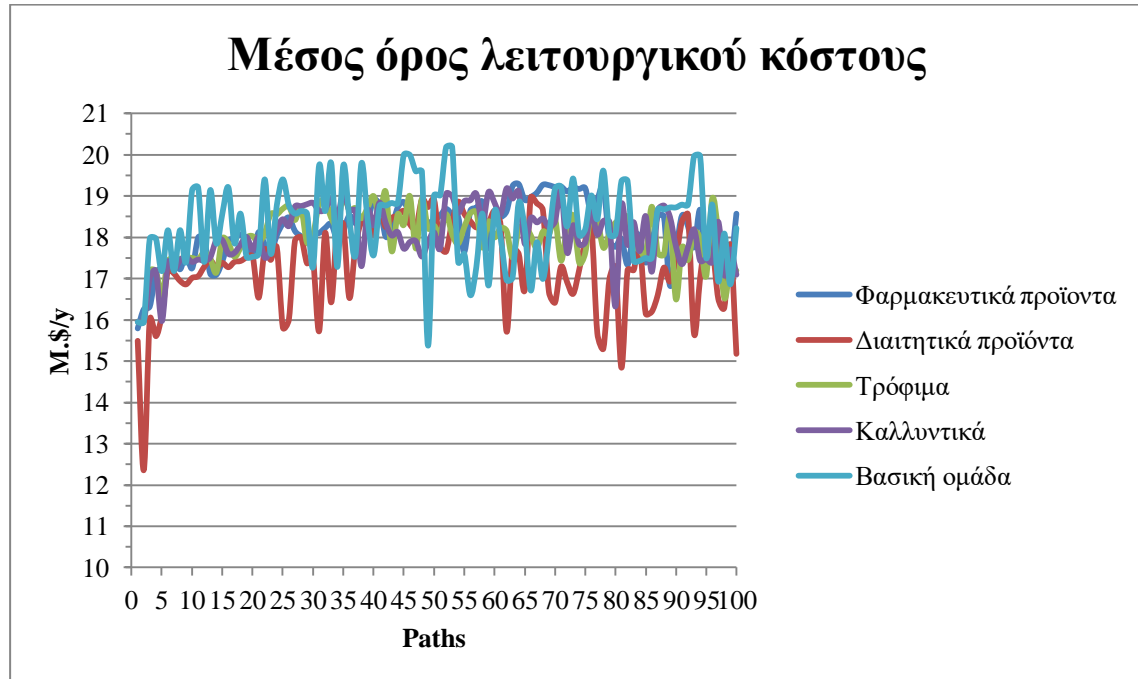


Σχήμα 90

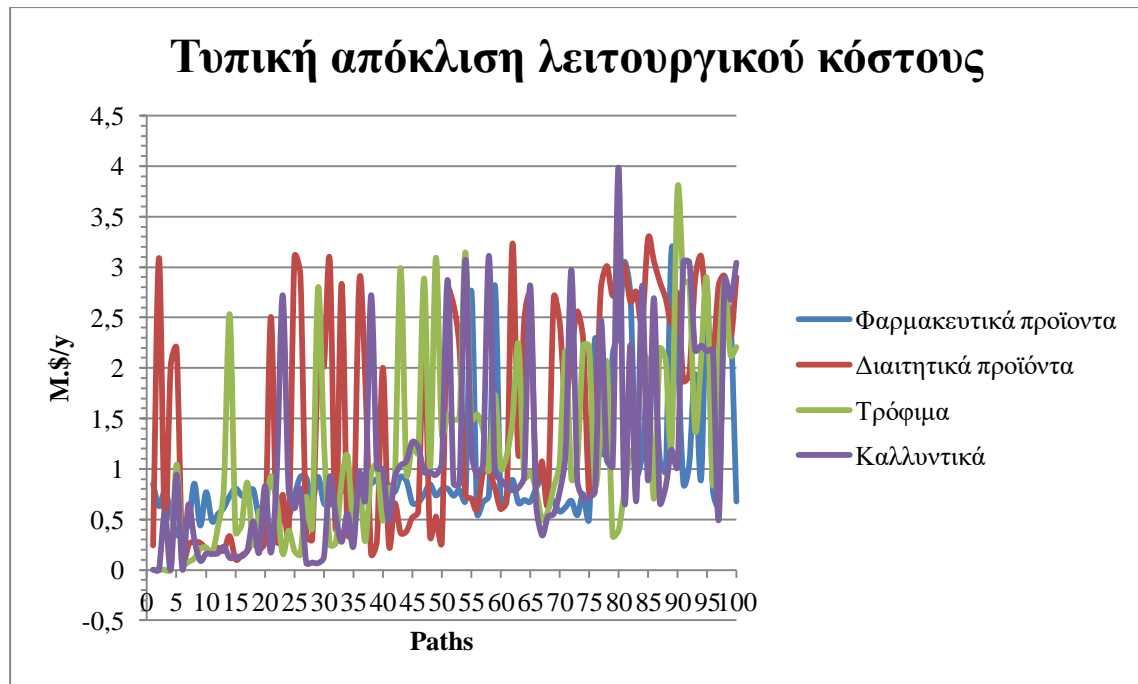
Το πάγιο κόστος και η τυπική του απόκλιση απεικονίζονται στα δύο παραπάνω σχήματα. Εξαιτίας της ζημιογόνου κερδοφορίας υπάρχουν έντονες αρνητικές διακυμάνσεις από την ομάδα των διαιτητικών προϊόντων. Αυτό έγινε με στόχο την μείωση του κόστους εξαιτίας των πολύ μικρών εσόδων. Έτσι παρατηρείται ότι η ομάδα αυτή λαμβάνει σε πλήθος σημείων χαμηλότερες τιμές από την βασική ομάδα. Η βασική ομάδα συνήθως έχει τις χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές. Μάλιστα εδώ



χάνει και την απόλυτα ελάχιστη τιμή πάγιου κόστους από την ομάδα των διαιτητικών προϊόντων. Αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί μια από τις χαμηλότερες που μπορεί να κατασκευαστεί ένα βιοδιυλιστήριο αλλά χωρίς να του αποφέρει κερδοφορία. Οι υπόλοιπες τιμές κινήθηκαν στα ίδια πλαίσια όπως στα προηγούμενα σενάρια. Η μόνη διαφορά είναι ότι παρουσιάζονται πιο κοντά μεταξύ τους με λιγότερο έντονες διακυμάνσεις, λόγω της χαμηλότερης κερδοφορίας. Κυμαίνονται κυρίως γύρω από το ύψος των 90 εκ. \$.

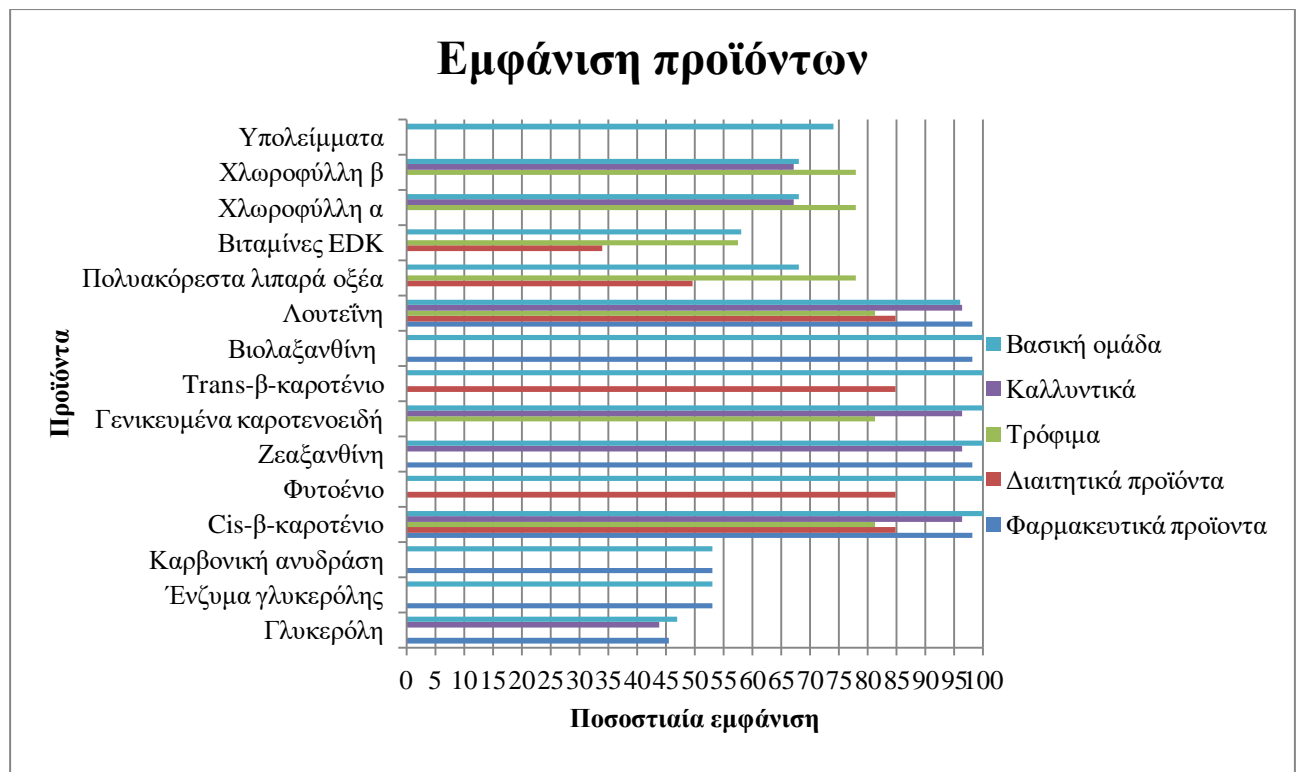


Σχήμα 91



**Σχήμα 92**

Τα σχήματα 91 και 92 παρουσιάζουν το λειτουργικό κόστος του βιοδυλιστηρίου και την τυπική απόκλιση του κόστους αυτού. Το λειτουργικό κόστος όπως στην περίπτωση του πάγιου κόστους εμφανίζεται πιο στενό με λιγότερο έντονες διακυμάνσεις εξαιτίας της έντονα χαμηλής κερδοφορίας που έχει το σενάριο. Μάλιστα η πλέον αρνητική ομάδα ως προς το κέρδος τα διαιτητικά προϊόντα έχουν το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος ώστε να περιορίσουν τις ζημίες τους. Το λειτουργικό κόστος των 12,362 εκ.\$ ανά έτος είναι το χαμηλότερο που εμφανίστηκε στο πείραμα αλλά δεν είναι αρκετά χαμηλό για να κρατήσει τα χαμηλά έσοδα στην κερδοφορία. Οι υπόλοιπες ομάδες είναι πιο κοντά μεταξύ σε σχέση με τα άλλα σενάρια, με λιγότερο έντονες διακυμάνσεις και κυμαίνονται μεταξύ των 16 με 19 εκ. \$ ανά έτος στα περισσότερα σημεία. Η τυπική απόκλιση που εμφανίζουν τα λειτουργικά κόστη δεν είναι ικανή να επηρεάσει το προβλεπόμενο εύρος, μεταφέροντας το σε άλλη τάξη μεγέθους.



**Σχήμα 93**

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η εμφάνιση προϊόντων για τις διάφορες ομάδες για το σενάριο 5. Η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων εμφάνισε χαμηλά έσοδα και το μοντέλο προσπάθησε να μειώσει το λειτουργικό και πάγιο κόστος της στο σενάριο. Αυτό αποτυπώνεται στο διάγραμμα που τα προϊόντα της έχουν εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά εμφάνισης. Είναι εντυπωσιακό ότι κατάφερε να μειώσει την παρουσία των καροτενοειδών της σε τόσο χαμηλό ποσοστό εμφάνισης. Αυτό το ποσοστό (85%) είναι χαμηλότερο από το «σκληρό» όριο που εμφανίζουν τα καροτενοειδή (90%). Τα καροτενοειδή είναι τα προϊόντα που επηρεάζουν περισσότερο από όλα την κερδοφορία. Από αυτήν την τάση δεν ξέφυγαν ούτε οι βιταμίνες και τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα των διαιτητικών προϊόντων που είδαν επίσης τα χαμηλότερα ποσοστά τους. Είναι εντυπωσιακό ότι οι βιταμίνες σχεδόν υποδιπλασιάστηκαν σε σχέση με την βασική ομάδα. Οι βιταμίνες είναι ένα προϊόν που παράγεται περιστασιακά χωρίς να επηρεάζει έντονα την κερδοφορία. Η γενική στρατηγική του μοντέλου των διαιτητικών προϊόντων σε τόσο έντονα αρνητικές συνθήκες με σχεδόν μηδενική έσοδα είναι ο περιορισμός του κόστους και ως αποτέλεσμα η μείωση εμφάνισης όλων των προϊόντων.

Αντίθετα με τα διαιτητικά προϊόντα η ομάδα των καλλυντικών που είχε μόνο ζημιογόνα κερδοφορία δεν εμφάνισε απόκλιση σε σχέση με την βασική ομάδα στην

εμφάνιση προϊόντων. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακολούθησε άλλη στρατηγική παρά τις παρεμφερείς ζημιογόνες συνθήκες. Επίσης εντυπωσιακό είναι ότι η ομάδα των τροφίμων που ξεκινά κερδοφόρα αλλά γρήγορα μετατρέπεται σε ζημιογόνα εμφάνισε το χαμηλότερο ποσοστό εμφάνισης καρτενοειδών. Επειδή είχε έστω και οριακή κερδοφορία στα πρώτα paths δεν ήταν αναμενόμενο ένα τόσο χαμηλό ποσοστό πόσο μάλλον σε όλο το πείραμα όταν υπάρχουν σενάρια και ομάδες με χαμηλότερα έσοδα. Βέβαια αύξησε την παραγωγή των χλωροφυλλών σε σχέση με την βασική ομάδα για να βελτιώσει την σχέση μεταξύ κέρδους και κόστους. Η παραγωγή χλωροφυλλών της ήταν στο υψηλότερο ποσοστό του πειράματος. Τέλος η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων δεν είχε αξιοσημείωτες αποκλίσεις από την βασική ομάδα και το αναμενόμενο.

## **Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα**

Το βιοδιωλιστήριο παρέχει ένα νέο, καινοτόμο σύστημα παραγωγής προϊόντων από βιομάζα με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Βιοδιωλιστήρια τρίτης γενιάς που βασίζονται στην χρήση μικροφυκών ως πρώτης ύλης δεν έχουν ακόμα τεθεί σε λειτουργία και βρίσκονται σε πιλοτικό στάδιο. Είναι σημαντικό να αναλυθεί και μελετηθεί το πρόβλημα σύνθεσης του βιοδιωλιστηρίου ενδελεχώς για την κατάλληλη βελτιστοποίηση του. Στην διπλωματική αυτή με χρήση τεχνικών Μόντε Κάρλο μελετήθηκε πως η αβεβαιότητα ως προς την αγορά και τα προϊόντα επηρεάζει το μοντέλο που κεφαλαίου 4 εισάγοντας όρους αβεβαιότητας και στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 6 τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε διαγράμματα για την καλύτερη παρουσίαση τους. Στο κεφάλαιο αυτό για την καλύτερη ανάδειξη των συμπερασμάτων αυτά χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα το είδος των αποτελεσμάτων. Στην ενότητα 7.1. στα έσοδα και την κερδοφορία, στην ενότητα 7.2. στο πάγιο και λειτουργικό κόστος και στην ενότητα 7.3. στο χαρτοφυλάκιο προϊόντων για το βιοδιωλιστήριο μικροφυκών που παρουσιάστηκε στα κεφάλαια 4 και 5.

### **7.1. Συμπεράσματα για τα έσοδα και την κερδοφορία φυκοδιωλιστηρίου**

Υπό την επίδραση διαφορετικών σεναρίων, δηλαδή διαφορετικών μελλοντικών δυνάμεων των αγορών εξαιτίας της κατακόρυφης αύξησης παραγωγής των προϊόντων, ήταν συχνό φαινόμενο ότι η σειρά κερδοφορίας δεν ακολουθούσε την σειρά μείωσης του παράγοντα τοποθεσίας από τα σενάρια. Έτσι για παράδειγμα η ομάδα των καλλυντικών στο απαισιόδοξο σενάριο 4 είχε την υψηλότερη κερδοφορία για όλα τα σενάρια της ομάδας. Ακόμα η ομάδα των καλλυντικών στο ρεαλιστικό σενάριο 2 ήταν λιγότερο κερδοφόρα από ότι στο ρεαλιστικό σενάριο 3. Φυσικά η γενική τάση να μειώνονται τα κέρδη και τα έσοδα ανάλογα την μείωση του παράγοντα τοποθεσίας από τα σενάρια έκανε την εμφάνιση της. Αυτό συνέβαινε όταν οι τιμές πώλησης που πάρθηκαν από την δειγματοληψία δεν είχαν μεγάλες αποκλίσεις από τον παράγοντα τοποθεσίας τους.

Αυτό είναι σημαντικό γιατί όπως φάνηκε για τα απαισιόδοξα σενάρια το βιοδυλιστήριο δεν είναι βιώσιμο. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το σενάριο 5 από την ομάδα των καλλυντικών που είναι συνεχώς ζημιογόνο έχοντας χαμηλή τυπική απόκλιση. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το σενάριο 5 για την ομάδα των διαιτητικών προϊόντων που εμφάνισε την μεγαλύτερη ζημιογόνο καμπύλη από όλες τις ομάδες για όλα τα σενάρια και είχε μικρή τυπική απόκλιση. Ακόμα για το σενάριο 4 η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων ήταν ζημιογόνα με μικρή τυπική απόκλιση. Στο σενάριο 4 η ομάδα των τροφίμων ήταν ζημιογόνα (με εξαίρεση τα 2 πρώτα paths που είναι απειροελάχιστα κερδοφόρα) και είχε χαμηλή τυπική απόκλιση. Τα απαισιόδοξα σενάρια 4 και 5 αντιμετωπίζουν υψηλό κίνδυνο ζημιάς για όλα τα paths και σε περιπτώσεις που δεν είναι ζημιογόνα σε όλες τις λύσεις που υπολόγισε το GAMS οι επιλογές σύνθεσης βιοδυλιστηρίου με κερδοφορία είναι λίγες και η κερδοφορία είναι μικρή. Τα ρεαλιστικά σενάρια 2, 3 και το αισιόδοξο σενάριο 1 προσφέρουν περισσότερες επιλογές σύνθεσης με κερδοφορία. Ο κίνδυνος ζημιάς ή έλλειψης επιλογών σύνθεσης είναι πολύ χαμηλός για να σενάρια 1 και 2.

Ένα ελάχιστο όριο εσόδων της τάξεως των 30 εκ. δολαρίων ανά έτος φαίνεται να είναι απαραίτητο σαν η ελαχίστη ασφάλεια για την βιωσιμότητα του βιοδυλιστηρίου. Η ομάδα των τροφίμων στο σενάριο 5 έχει έσοδα 27,704 εκ. δολάρια ανά έτος στο path 1 αποκομίζοντας έτσι κέρδη 5,764 εκ. δολάρια ανά έτος. Αυτή η κερδοφορία κράτησε για μόνο 30 paths. Η τυπική απόκλιση της κερδοφορίας της ομάδας στο path 1 ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από το κέρδος. Αν θεωρηθεί ότι μια τόσο μεγάλη τυπική απόκλιση σχετίζεται με πιθανούς μελλοντικούς κινδύνους, είναι εύκολο να θεωρηθεί ότι η παραγόμενη κερδοφορία δεν είναι αρκετά ασφαλής για αρνητικές διακυμάνσεις της αγοράς και των προϊόντων και άλλα προβλήματα που πιθανώς να αντιμετωπίσει το βιοδυλιστήριο στο μέλλον. Εξάλλου τα μόνο 30 paths από τα οποία τα μισά έχουν σχεδόν μηδενική κερδοφορία δεν αφήνει πολλά περιθώρια ελιγμών στον τρόπο που θα μπορούσε να αλλάξει την σύνθεση του το βιοδυλιστήριο.

Οι ομάδες κατάφεραν σε διάφορα σενάρια να έχουν παρόμοια ή μεγαλύτερη κερδοφορία σε σχέση με την βασική ομάδα που πουλούσε όλα τα προϊόντα στις αρχικές τιμές. Αυτό όμως γινόταν με τίμημα μια τουλάχιστον υπολογίσιμη τυπική απόκλιση. Δηλαδή η πώληση λιγότερων προϊόντων με παράγοντα τοποθεσίας ίδιο ή μικρότερο των αρχικών τιμών αντισταθμιζόταν με την αυξημένη τυπική απόκλιση. Αν θεωρηθεί ότι η τυπική απόκλιση συνδέεται με το ρίσκο είναι δυνατό λιγότερα προϊόντα να έχουν ίδια ή περισσότερη κερδοφορία με την βασική ομάδα με τίμημα το

επιπρόσθετο ρίσκο. Ένα βιοδιυλιστήριο μικροφυκών που πουλάει περισσότερα προϊόντα προσφέρει περισσότερες και πιο ασφαλείς επιλογές σύνθεσης.

Καλύτερη συμπεριφορά ως προς το κέρδος επέδειξε η ομάδα των φαρμακευτικών προϊόντων. Αυτό εν μέρει ήταν αναμενόμενο εξαιτίας του γεγονότος ότι είχε τέσσερα καροτενοειδή. Τα τέσσερα καροτενοειδή που είχε είχαν την υψηλότερη αθροιστική αξία τιμών πώλησης σε σύγκριση με τα καροτενοειδή που είχαν οι άλλες ομάδες. Λιγότερο κερδοφόρα αποδείχθηκε η ομάδα των τροφίμων που περιείχε μόνο τρία καροτενοειδή και ποτέ δεν κατάφερε να ξεπεράσει την βασική ομάδα σε κερδοφορία. Τα καροτενοειδή είναι η ομάδα προϊόντων με την μεγαλύτερη επίδραση στην κερδοφορία εξαιτίας των υψηλών τιμών και του πλήθους τους. Η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων και η ομάδα των καλλυντικών κινήθηκαν σε έναν ενδιάμεσο χώρο χωρίς να ξεχωρίζουν αισθητά ή μια από την άλλη. Εξαίρεση αποτελεί το σενάριο 1 που η ομάδα των διαιτητικών προϊόντων είχε την μεγαλύτερη κερδοφορία και τυπική απόκλιση που υπολογίστηκε στην διπλωματική. Ο στόχος για κερδοφορία τουλάχιστον 20 εκ. δολαρίων ανά έτος σε συνδυασμό με τουλάχιστον 50 κερδοφόρα paths ήταν εφικτός ανάλογα το σενάριο για όλες τις ομάδες, δίνοντας έτσι ένα περιθώριο ασφαλείας και δυνατότητας αρκετών τροποποιήσεων αν αυτό καταστεί αναγκαίο.

Οι καμπύλες κέρδους που υπολόγισε το πρόγραμμα GAMS ήταν ομαλές χωρίς πολλές διακυμάνσεις και μειώνονταν χωρίς έντονες αλλαγές της κλίσης τους. Μάλιστα παρά την διαφορετική χρήση ομάδων προϊόντων, κατανομών και παραγόντων κλίμακας και τοποθεσίας η κλίση τους ήταν σχετικά παρόμοια. Η καμπύλη κερδοφορίας όλων των προϊόντων περιείχε περισσότερες μικρές διακυμάνσεις και ήταν λιγότερο ομαλή σε σύγκριση με τις τέσσερις ομάδες που χωρίστηκαν τα προϊόντα. Ακόμα είναι ενδιαφέρον ότι στο path 79 εμφανίστηκε μια έντονη πτώση στην κερδοφορία και τα έσοδα. Αυτή η πτώση δεν οφειλόταν στην παύση παραγωγής ενός ή περισσότερων προϊόντων. Ούτε είχε ως αιτία ή επηρέαζε δραστικά το λειτουργικό κόστος. Η πτώση αυτή οφειλόταν στον υπολογισμό του προγράμματος GAMS ότι από εκείνο το σημείο και έπειτα είναι πιο προσοδοφόρο να μειωθεί η ποσότητα παραγωγής των καροτενοειδών. Η ένταση της πτώσης στο path 79 μειωνόταν όσο μειωνόταν η κερδοφορία και δεν ήταν το ίδιο εμφανής στην βασική ομάδα που παρήγαγε όλα τα προϊόντα και «κρυβόταν» πίσω από αυτό. Η πτώση στην ποσότητα παραγωγής κυμαινόταν στο 30% με 50%. Θα περίμενε κανείς ότι μια τέτοια πτώση θα μείωνε τα λειτουργικά κόστη στα ίδια ή χαμηλότερα επίπεδα

από αυτά του path 1 όπου λάμβαναν την χαμηλότερη ή κοντά στην χαμηλότερη τιμή τους, κάτι που δεν συνέβη.

## **7.2. Πάγιο και λειτουργικό κόστος βιοδιυλιστηρίου μικροφυκών**

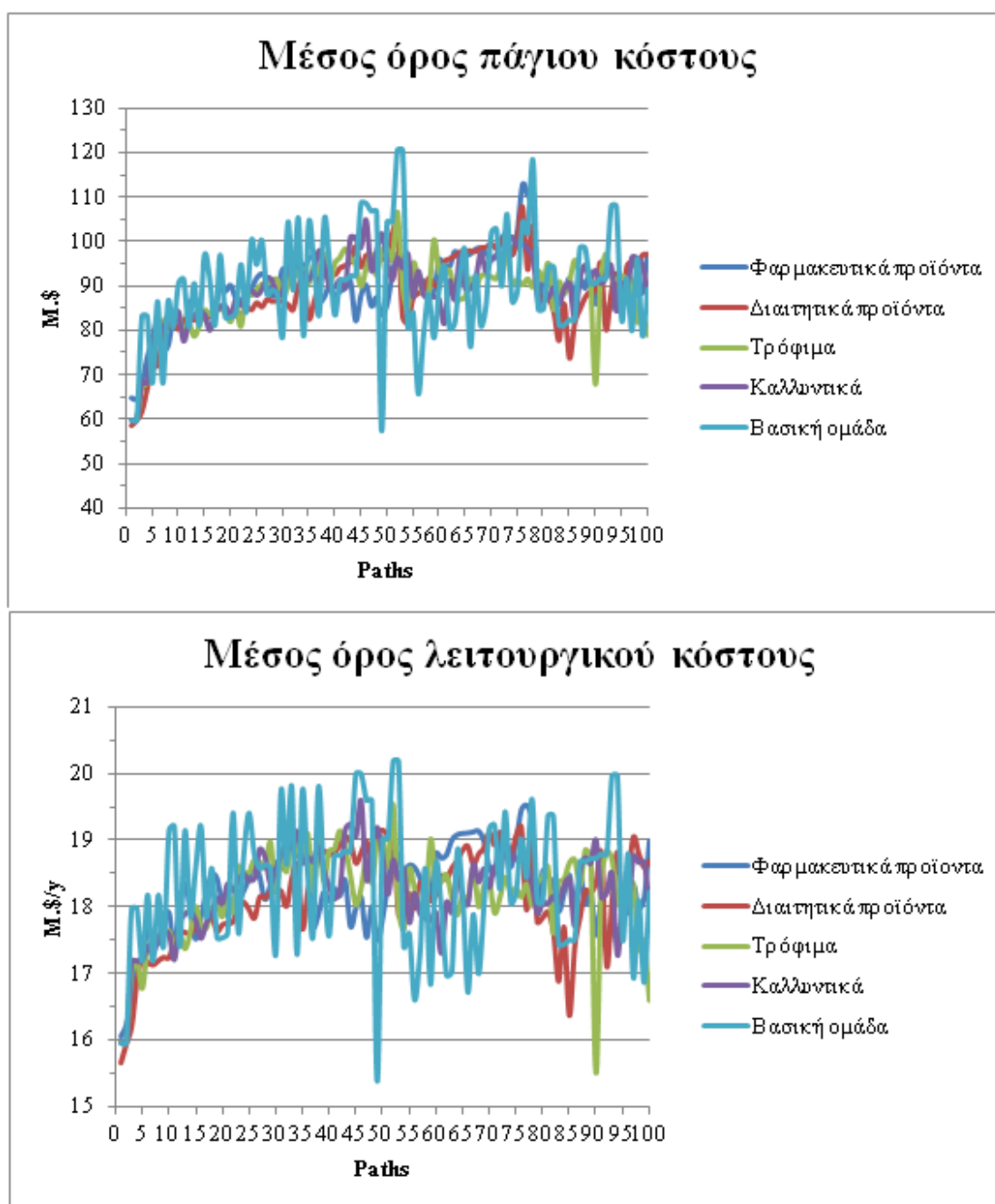
Το λειτουργικό κόστος για όλα τα σενάρια και τις ομάδες προϊόντων κυμάνθηκε σε ένα εύρος που μπορεί να περικλειστεί στο διάστημα 15,5 με 21 εκ. δολαρίων ανά έτος. Η τυπική του απόκλιση ποσοτικά ήταν μικρή σε σύγκριση με την τυπική απόκλιση που εμφάνισαν τα έσοδα και η κερδοφορία. Ήταν σαφώς ένα πιο προβλέψιμο μέγεθος. Το εύρος τιμών του δεν επηρεάζεται έντονα από την αλλαγή της χρηματικής αξίας πώλησης των προϊόντων. Μάλιστα η μείωση του αριθμού των προϊόντων μείωνε την ένταση των διακυμάνσεων. Αυτό μπορούσε να φανεί σε σύγκριση με το λειτουργικό κόστος της καμπύλης της βασικής ομάδας με τις καμπύλες των ομάδων που χωρίστηκαν τα προϊόντα. Πιο σημαντικός παράγοντας στο τελικό ύψος του λειτουργικού κόστους είναι το path που θα επιλεγθεί. Το path εκφράζει ένα μονοπάτι παραγωγής προϊόντων και διεργασιών σύμφωνα με το μοντέλο σύνθεσης του κεφαλαίου 4. Παρά την αυξημένη διακύμανση του λειτουργικού κόστος με την αύξηση των προϊόντων παραγωγής, η διακύμανση δεν ήταν αρκετή για να αλλάξει το συμπέρασμα ότι ένα βιοδιυλιστήριο μικροφυκών που πουλάει περισσότερα προϊόντα προσφέρει περισσότερες και πιο ασφαλείς επιλογές σύνθεσης.

Το πάγιο κόστος εμφανίζει μεγάλη ομοιότητα με το λειτουργικό κόστος. Ποιοτικά οι καμπύλες τους εμφάνισαν πολλές κοινές κορυφές και κοιλάδες για το ίδιο σημείο. Αυτή η ομοιότητα υπήρχε σε όλα τα σενάρια και για όλες τις ομάδες. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ των δύο οικονομικών μεγεθών. Συνεπώς όταν επιλεγθεί η κατασκευή βιοδιυλιστηρίου με υψηλό πάγιο κόστος αναμένεται ότι θα επικρατήσει ένα υψηλό κόστος λειτουργίας. Ομοίως για ένα χαμηλό λειτουργικό κόστος θα χρειαστεί να διατεθούν μικρότερα ποσά για την κατασκευή του βιοδιυλιστηρίου.

Το πάγιο κόστος κυμάνθηκε ως επί το πλείστον στο διάστημα μεταξύ 60 εκ. με 110 εκ. δολαρίων για τις τέσσερις ομάδες που χωρίστηκαν τα προϊόντα. Το πάγιο κόστος εμφάνισε χαμηλότερη ποσοστιαία τυπική απόκλιση ως προς το μέσο όρο σε σύγκριση με τα έσοδα και τα κέρδη. Οι εναλλαγές στο ύψος της τιμής του κόστους οφείλονταν,



όπως στην περίπτωση του λειτουργικού κόστους κυρίως στο υπό επιλογή path. Η μείωση του παραγόμενου αριθμού προϊόντων οδήγησε σε ελάττωση της έντασης των διακυμάνσεων. Ήταν σύνηθες τα 10 πρώτα paths να έχουν χαμηλότερα ή πολύ κοντά στα χαμηλότερα πάγια κόστη σε σχέση με τα υπόλοιπα 90. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα πρώτα 10 paths έχουν την μεγαλύτερη κερδοφορία τα καθιστά τα πλέον ιδανικά για την σύνθεση ενός βιοδυλιστηρίου μικροφυκών.



**Εικόνα 15** Ποιοτική σύγκριση κορυφών και κοιλάδων πάγιου και λειτουργικού κόστους για το σενάριο 3.

### 7.3. Χαρτοφυλάκιο προϊόντων φυκοδιωλιστηρίου

Τα προϊόντα που επιλέχθηκαν κατά κύριο λόγο προς παραγωγή, χωρίς να αποτελεί έκπληξη, είναι τα καροτενοειδή. Αυτά άλλωστε έχουν τις μεγαλύτερες τιμές πώλησης σε σχέση με τα άλλα προϊόντα που μπορεί να παράγει το βιοδιωλιστήριο. Επίσης είναι η πολυπληθέστερη κατηγορία προϊόντων. Μάλιστα κατά την διάρκεια του πειράματος είχαν την τάση πολύ δύσκολα η ποσοστιαία εμφάνιση τους στο σύνολο των λύσεων κάθε σεναρίου να είναι κάτω από 90%. Όλα τα καροτενοειδή παράγονται από την ίδια μοναδική διαδρομή, όπως φαίνεται στην εικόνα 7 της υποενότητας 4.2.2. Μόλις παραγόταν ένα καροτενοειδές οδηγούσε στην παραγωγή και των υπόλοιπων καροτενοειδών που είχε η ομάδα. Μάλιστα το χαμηλότερο ποσοστό παραγωγής τους ήταν στο 81,2%, ένα ποσοστό που καμία άλλη ομάδα προϊόντων δεν μπόρεσε να φτάσει. Αυτό συνέβαινε ακόμα και όταν κάποιο άλλο προϊόν είχε υψηλότερη τιμή από ένα καροτενοειδές. Τα χαρτοφυλάκια προϊόντων με περισσότερα καροτενοειδή εμφανίζουν υψηλότερη κερδοφορία και λιγότερο κίνδυνο.

Μετά τα καροτενοειδή σημαντικότερα σε αξία πώλησης ήταν οι δύο χλωροφύλλες. Παρουσίασαν ποσοστά εμφάνισης που κυμαίνονταν στο 70%. Όπως τα καροτενοειδή εμφάνισαν ένα όριο όπου δεν παράγονται εύκολα κάτω από 65%. Από την άλλη μια έντονη αύξηση της τιμής τους δεν οδηγούσε σε κοντινά με τα καροτενοειδή ποσοστά παραγωγής. Οι χλωροφύλλες έχουν την αξία να επηρεάσουν σημαντικά την κερδοφορία του βιοδιωλιστηρίου.

Αυτό δεν συμβαίνει για τα υπόλοιπα προϊόντα που είναι δυνατόν να παραχθούν από το βιοδιωλιστήριο. Η γλυκερόλη, τα ένζυμα γλυκερόλης, οι βιταμίνες και η καρβονική ανυδράση παράγονται περιστασιακά. Ακόμα και μεγάλες ποσοστιαίες διακυμάνσεις στην τιμή τους είναι σχεδόν απίθανο να επηρεάσουν καταλυτικά την κερδοφορία του βιοδιωλιστηρίου. Λειτουργούν ως ένα συμπλήρωμα κέρδους. Βέβαια αυτό μπορεί να μην είναι αρκετό για την επιλογή τους από την παραγωγή του βιοδιωλιστηρίου, εξαιτίας του μικρού κέρδους που μπορούν να προσφέρουν σε συνδυασμό με την αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος.

Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα έχουν την τάση να εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα που εμφανίζονται οι χλωροφύλλες, επειδή ακολουθούν κοινά μονοπάτια παραγωγής με αυτές, όπως φαίνεται στην εικόνα 7 της υποενότητας 4.2.2. Έτσι όταν παράγονται χλωροφύλλες οδηγούν στην αύξηση της παραγωγής των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων παρά την μικρή τιμή πώλησης των τελευταίων.

Με βάση τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν στα κεφάλαια 4 και 5 ένα βιοδιωλιστήριο τρίτης γενιάς μικροφυκών είναι ιδανικό να έχει χαρτοφυλάκιο προϊόντων που θα βασίζεται στα καροτενοειδή, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και τις χλωροφύλλες. Αυτά τα προϊόντα κυριάρχησαν σε όλα τα σενάρια και τις ομάδες προϊόντων που συμμετείχαν. Επηρεάζουν καταλυτικά την κερδοφορία και παρέχουν την δυνατότητα για υψηλά έσοδα σε πλήθος διαφορετικών συνθηκών. Παρουσιάζονται τα πλέον ασφαλή για παραγωγή ως προς τις αβεβαιότητες των αγορών και των προϊόντων που μελετήθηκαν. Με παραγωγή τους το επίπεδο πολυπλοκότητας του σχεδιαζόμενου βιοδιωλιστηρίου δεν είναι απαγορευτικό, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει πλήθος επιλογών για παραγωγή προϊόντων. Ένα βιοδιωλιστήριο μικροφυκών που πουλάει περισσότερα προϊόντα προσφέρει περισσότερες και πιο ασφαλείς επιλογές σύνθεσης.

Οι ομάδες των φαρμακευτικών προϊόντων και τα καλλυντικά έχουν πολλά κοινά προϊόντα. Οι ομάδες ήταν κερδοφόρες στα ρεαλιστικά και στο αισιόδοξο σενάρια. Το ύψος της κερδοφορίας ήταν ικανοποιητικό. Η επιλογή μιας εκ των δύο ομάδων ή ένας συνδυασμός τους αποτελεί το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο παρέχοντας σταθερότητα, χαμηλό ρίσκο και υψηλή κερδοφορία.

## Βιβλιογραφία

1. **Cherubini Francesco, Jungmeier Gerfried, Wellisch Maria, Willke Thomas, Skiadas Ioannis, Van Ree René, de Jong Ed.** Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Modeling and Analysis*. 8 september 2009, σσ. 534–546.
2. **Dang Xuan Tran, Sakanishi Kinya, Nakagoshi Nobukazu, Fujimoto Shinji, Minowa Tomoaki.** Biorefinery: Concepts, Current Status, and Development Trends. *International Journal of biomass & renewables*. 2012, σσ. 1-8.
3. **Kit Wayne Chew, Jing YingYap, et al.** Microalgae biorefinery: High value products perspectives. *Bioresource Technology*. April 2017, σσ. 53-62.
4. **Denny K.S., Kok Siew, Rex T.L.** Integrated Biorefineries. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*. 2017, σσ. 299-314.
5. **Mussnug J.H., Klassen V., Schlüter A., Kruse O.** Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept. *Journal of Biotechnology*. 1 October 2010, σσ. 51-56.
6. **Taylor, Gail.** Biofuels and the biorefinery concept. *Energy policy*. 7 November 2008, σσ. 4406-4409.
7. **Kaparaju Prasad, Serrano María, Thomsen Anne Belinda, Kongjan Prawit , Angelidaki Irini.** Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology*. May 2009, σσ. 2562-2568.
8. **BSCS.** Eukaryotes: Protists and Fungi. *Biological Science: An Ecological Approach*. s.l. : Kendall/Hunt, 1987.
9. **Γκέλης, Σπύρος.** Κεφάλαιο 6: Καλλιέργεια φυκιών. *Υδατοκαλλιέργειες*. Αθήνα : Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015.
10. **Bonilla S., Villeneuve V., Vincent W. F.** Benthic and planktonic algal communities in a high arctic lake: Pigment structure and contrasting responses to nutrient enrichment. *Journal of Phycology*. 2005, σσ. 1120-1130.

11. *Growing algae bloom in Arabian Sea tied to climate change*. s.l. : Kuwait Times, 15 March 2017.
12. **Suganya T., Varman M., Masjuki H.H., Renganathan S.** Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. March 2016, σσ. 909-941.
13. **ANDERSEN, R.A.** Diversity of eukaryotic algae . *Biodiversity and Conservation* . 1992, σσ. 267-292 .
14. **Sheath Robert G., Wehr John D.** Introduction to the Freshwater Algae. *Freshwater Algae of North America published*. s.l. : Elsevier, 2015, σσ. 1-14.
15. **Whitton, Brian A.** The Fossil Record of Cyanobacteria. *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. s.l. : Springer, 2012, σσ. 15-36.
16. **Gould S.B., Waller R.F., McFadden G.I.** Plastid evolution. *Annual Review of Plant Biology*. 2008, σσ. 491–517.
17. **McFadden, G.I.** Primary and Secondary Endosymbiosis and the Evolution of Plastids. *Journal of Phycology*. 2001, σσ. 951–959.
18. **Palmer Jeffrey, Soltis Douglas, Chase Mark.** The plant tree of life: an overview and some points of view. *American journal of botany*. 1 October 2004.
19. **Gibbs, Sarah** The chloroplasts of Euglena may have evolved from symbiotic green algae. *Canadian Journal of Botany*. 1978, σσ. 2883–2889.
20. **Stace Clive A.** *Plant Taxonomy and Biosystematics*. s.l. : Cambridge University Press, 1991.
21. **Duff K., Zeeb Barbara A., Smol John P.** *Atlas of Chrysophycean Cysts*. s.l. : Springer , 1995.
22. **Kawachi Masanobu, Inouye I., Maeda O., Chihara M.** The haptonema as a food-capturing device: Observations on *Chrysochromulina hirta* (Prymnesiophyceae). *Phycologia* . 1991, σσ. 563-573.

23. **Sheath Robert G., Wehr John D.** Chapter 14 - Synurophyte Algae. *Freshwater Algae of North America*. s.l. : Elsevier, 2015, σσ. 607-651.
24. **Yool Andrew, Tyrrell Toby.** Role of diatoms in regulating the ocean's silicon cycle. *Global Biogeochemical Cycles*. 2003.
25. **Raven, J.A.** The transport and function of silicon in plants. *Biological reviews*. 1983, σσ. 179-207.
26. **Van den Hoek Christiaan, Mann David, Jahns H.M.** Algae: an introduction to phycology. *Cambridge University Press*. σ. 166.
27. **Suganyaa T., Varmana M., Masjukia H.H., Renganathanb S.** Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015.
28. **Tredici M., Materassi R.** From open ponds to vertical alveolar panels: the Italian experience in the development of reactors for the mass cultivation of phototrophic microorganisms. *Journal of Applied Phycology*. 1992, σσ. 221–231.
29. **Amos, Richmond.** *Handbook of Microalgal Mass Culture*. Florida : CRC Press, 1986.
30. **Costa Jorge Alberto Vieira , et al.** Microalgal biorefinery from CO<sub>2</sub> and the effects under the Blue Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. s.l. : Elsevier, 2019, σσ. 58-65.
31. **Carvalha Ana P., Meireles Luís A., Malcata F. Xavier.** Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology Progress*. 2006, σσ. 1490–1506.
32. **Amos Richmond, Zhang Cheng-Wu.** Optimization of a flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. outdoors. *Journal of Biotechnology*. 2001, σσ. 259–269.
33. **Wurts, William.** *Farming algal fuel: Economics challenge process potential*. s.l. : Global Aquaculture Advocate, 2010.

34. **Tingting, Ren.** *Primary Factors Affecting Growth of Microalgae Optimal Light Exposure Duration and Frequency.* s.l. : Iowa State University, 2014.
35. **Gatamaneni Loganathan, Bhalamurugan & Orsat, Valérie & Lefsrud, Mark.** Factors Affecting the Growth of Various Microalgal Species. *Environmental Engineering Science.* 9 October 2018.
36. **Cherubini, Francesco.** The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management.* July 2010, σσ. 1412-1421.
37. **Psycha Melina, Kokossis Antonis C.** Synthesis and Optimization of Microalgae Biorefineries. *Computer Aided Chemical Engineering.* 2016, σσ. 325-330.