

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΓΕΩΠΟΝΙΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ »**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ [*Helianthus annuus L.*] ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ »**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΑΡΑΜΠΙΑΤΖΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ**

**ΒΟΛΟΣ 2017**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΓΕΩΠΟΝΙΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ »**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**« ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ [*Helianthus annuus L.*] ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ »**

**ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :** κ. Δαναλάτος Νικόλαος

**ΜΕΛΟΣ :** κ. Δημήτρου Ανθούλα

**ΜΕΛΟΣ:** κ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία

**ΒΟΛΟΣ 2017**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα από όλα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου, Καθηγητή κ. Δαναλάτο Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ανάθεση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γκιντσιούδη Ιπόλυτο για την εποικοδομητική συνεργασία μας, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης του πειράματός το οποίο αποτελούσε μέρος της διδακτορικής διατριβής του.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στις Καθηγήτριες κ. Δημήρκου Ανθούλα και κ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν, αλλά και σε όλους του καθηγητές που είχα μέχρι στιγμής στην ακαδημαϊκή μου ζωή οι οποίοι με έκαναν καλύτερο επιστήμονα.

Τέλος ένα μεγάλο και εγκάρδιο ευχαριστώ αξίζουν δύο ήρωες της καθημερινότητάς μου, οι γονείς μου Αραμπατζής Λάμπρος και Αγρολάμπου Σουλτάνα, που με στηρίζουν ηθικά και κυρίως οικονομικά όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντάς μου κουράγιο να προχωρώ και να υπερπηδώ κάθε εμπόδιο για να φτάσω στο στόχο μου και να ολοκληρώσω τα όνειρά μου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Γενεές βιοκαυσίμων .....	7
1.1.1. Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς .....	7
1.1.2. Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς .....	7
1.1.3. Βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς.....	8
1.1.4. Βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς .....	8
1.2. Κατηγορίες βιοκαυσίμων .....	9
1.2.1. Στερεά βιοκαύσιμα.....	9

1.2.2. Βιοκαύσιμα χλωρής βιομάζας.....	11
1.2.3. Βιοαέριο .....	12
1.3. Από που παράγονται τα βιοκαύσιμα .....	13
1.3.1. Βιολογικά απόβλητα .....	13
1.3.2. Ενεργειακά φυτά .....	13
1.3.3. Δασικές και γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες .....	19
1.4. Βιοντίζελ .....	20
1.4.1. Αγορά καυσίμων ντίζελ .....	20
1.4.2. Πρότυπα βιοντίζελ.....	20
1.4.3. Πρώτες ύλες βιοντίζελ.....	21
1.4.4. Ευκαιρίες .....	22
1.5. Πλεονεκτήματα .....	24
1.6. Μειονεκτήματα .....	27
1.7. Ροή ενέργειας για την δημιουργία του βιοντίζελ .....	27
1.8. Παραγωγή βιοντίζελ.....	28
1.9. Ηλίανθος για την παραγωγή βιοντίζελ .....	30
1.9.1. Περιγραφή ηλίανθου .....	31
1.9.2. Οικολογικές απαιτήσεις .....	32
1.9.3. Διαχείριση καλλιέργειας .....	33
1.9.4. Παραγωγή.....	35
1.9.5. Συγκομιδή.....	36
1.9.6. Χρήσεις .....	37
1.9.7. Συλλογή ελαίου από ηλίανθο .....	39
1.10. Ενεργειακές καλλιέργειες και χρήσεις γης.....	39
1.10.1. Αξιολόγηση του κύκλου ζωής ( LCA ) .....	41
1.10.2. Μέθοδοι επισκόπησης σχετικά με τις επιπτώσεις στην χρήση της γης για την παραγωγή βιοκαυσίμων. ....	42
1.11. Βιώσιμο προφίλ των βιοκαυσίμων .....	48
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....	49
2.1. Θέση του Πειραματικού Αγρού.....	49
2.2. Εργασίες Αγρού .....	49
2.3 Πειραματικό σχέδιο.....	50
2.4. Μέθοδος Δειγματοληψίας .....	51
2.5. Δειγματοληψίες.....	52

2.6. Εργαστηριακές μετρήσεις .....	52
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	53
3.1. Στάδια ανάπτυξης.....	53
3.2. Αποδόσεις σε βιομάζα .....	53
3.2.1 Αποδόσεις σε βιομάζα ανά άρδευση.....	53
3.2.2 Αποδόσεις σε βιομάζα ανά λίπανση.....	56
3.3. Αποδόσεις σε σπόρο .....	59
3.4. Μετεωρολογικά δεδομένα.....	60
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα βιοκαύσιμα κερδίζουν συνεχώς την προσοχή κοινού και επιστημονικής κοινότητας λόγω της ανάγκης ενεργειακής αυτονομίας και της ανησυχίας για την κλιματική αλλαγή. Προέρχονται από διάφορες πηγές βιολογικής δέσμευσης άνθρακα οι οποίες μετατρέπονται από τον άνθρωπο σε υγρά, στερεά αλλά και αέρια βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα, η πρώτη ύλη των οποίων προέρχεται από φυτικές καλλιέργειες, παρόλο που αποτελούν μια καλή εναλλακτική των ορυκτών καυσίμων, η χρήση τους έχει επικριθεί πολλές φορές λόγω της χρήσης καλλιεργήσιμης γης που θα μπορούσε να παράγει τρόφιμα και των εισροών που απαιτούνται στην καλλιέργεια. Ο ηλίανθος (*Helianthus annuus L.*) είναι ένα φυτό που καλλιεργείται για την παραγωγή ελαίου, που επιπρόσθετα δίνει και δευτερεύοντα προϊόντα όπως τα υπολείμματα της επεξεργασίας του σπόρου για ζωοτροφή και τα φυτικά υπολείμματα από τα στελέχη και τις κεφαλές, μετά τον αλωνισμό, για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων. Το έλαιο του σπόρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για βρώση, είτε στη βιομηχανία για παραγωγή βιοντίζελ και γλυκερίνης ως παραπροϊόν της επεξεργασίας του. Ως φυτό μεγάλης καλλιέργειας έχει κάποιες απαιτήσεις σε εισροές, οι οποίες θα πρέπει να υπολογιστούν, ούτως ώστε με βάση το παραγόμενο προϊόν να γίνει μια εκτίμηση των αναγκών της καλλιέργειας και της βιωσιμότητας της. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη του ηλίανθου κάτω από τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης και τρεις διαφορετικές δόσεις αζωτούχου λίπανσης. Η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα της Γεωπονικής σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τη θερινή περίοδο του 2015. Σκοπός της εργασίας είναι να εκτιμήσει τις διαφορές που θα παρουσιάσει η καλλιέργεια στην ανάπτυξη ανά μεταχείριση καθώς και στην παραγωγή σπόρου.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Γενές βιοκαυσίμων

Τα βιοκαύσιμα που διατίθενται σήμερα ή είναι σε φάση ανάπτυξης χωρίζονται σε 3, ή και σε 4 μερικές φορές, ομάδες που ονομάζονται «γενιές».

Όπως ο όρος «γενιά» δηλώνει, τα βιοκαύσιμα ταξινομούνται σύμφωνα με την προοδευτική τους εμφάνιση στην αγορά κατά τα τελευταία 20-30 χρόνια. Ο τελικός στόχος στην ανάπτυξη των βιοκαυσίμων θα συνδυάζει υψηλότερες αποδόσεις ενέργειας, χαμηλότερες απαιτήσεις λιπασμάτων και γης και απουσία ανταγωνισμού με την τροφή, ενώ συνδυαστικά με το χαμηλό κόστος παραγωγής, θα προσφέρουν μια πραγματικά βιώσιμη εναλλακτική λύση στα καύσιμα μεταφορών.

### 1.1.1. Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς βασίζονται σε πρώτες ύλες που έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά ως τρόφιμα, όπως το καλαμπόκι ή το ζαχαροκάλαμο για την παραγωγή αιθανόλης και βρώσιμα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη για την παραγωγή βιοντίζελ. Η τεχνολογία για την παραγωγή αυτού του είδους των βιοκαυσίμων υπάρχει και είναι αρκετά πάγια. Τα καύσιμα αυτά είναι σήμερα ευρέως διαδεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη το κόστος παραγωγής των πρώτων υλών, τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς έχουν σχεδόν φτάσει στο μέγιστο μερίδιο αγοράς τους στην αγορά των καυσίμων.

Η άνοδος των τιμών των τροφίμων και οι αμφιβολίες σχετικά με την μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, είναι μερικά καυτά σημεία για συζήτηση όσων αφορά τη βιωσιμότητά τους.

### 1.1.2. Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς

Αντιμετωπίζοντας τις κύριες ανησυχίες των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς έχουν αναπτυχθεί προηγμένες τεχνικές διαδικασίες για την απόκτηση βιοκαυσίμων, όπως για παράδειγμα αιθανόλη και βουτανόλη από μη βρώσιμες πρώτες ύλες, όπως η κυτταρίνη από το κυτταρικό τοίχωμα των φυτικών κυττάρων, αντί των σακχάρων από καλαμπόκι ή ζαχαροκάλαμο. Άλλες έρευνες προσπαθούν να βρουν μη εδώδιμες ελαιοδοτικές καλλιέργειες για την παραγωγή βιοντίζελ, όπως κάποια Brassicaceae, (*B.carinata*, *B.juncea*) και τα *Nicotiana tabacum*, *Ricinus communis*, *Cynara cardunculus* (Bianchi et al., 2011)

Ακόμη κι αν κάποια θέματα είναι ακόμα υπό αμφισβήτηση, τα δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα κάνουν ευρύτερο το χαρτοφυλάκιο της πρώτης ύλης για παραγωγή βιοκαυσίμων αποφεύγοντας τον ανταγωνισμό με τα τρόφιμα. Παρ' όλα αυτά, το κόστος της πρώτης ύλης παραμένει σε υψηλά επίπεδα (όχι κατ' ανάγκη λόγω της ανάκτησης πρώτων υλών, αλλά λόγω της μεταποίησης) και εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες για την εξοικονόμηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την αλλαγή καλλιέργειας της γης (Searchinger , 2008).

### **1.1.3. Βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς**

Τα τρίτης γενιάς βιοκαύσιμα, καθώς και τα δεύτερης γενιάς, κατασκευάζονται από μη-εδώδιμες πρώτες ύλες με το πλεονέκτημα ότι το παραγόμενο καύσιμο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (για παράδειγμα, ταχέως αναπτυσσόμενα φύκια ή βακτήρια) αντικαθιστά ισοδύναμα τη βενζίνη, το ντίζελ και τα αεροπορικά καύσιμα. Βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης και πρέπει ακόμα να αντιμετωπιστούν αρκετές τεχνολογικές και οικονομικές προκλήσεις.

### **1.1.4. Βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς**

Τα τέταρτης γενιάς βιοκαύσιμα είναι εκείνα που μειώνουν την συγκέντρωση του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα καύσιμα αυτά θα λαμβάνονται από γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες και θα απελευθερώνουν μικρότερο ποσό διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση τους από ότι απορροφάται από την ατμόσφαιρα για την ανάπτυξή τους (Kalita , 2008)



## 1.2. Κατηγορίες βιοκαυσίμων

### 1.2.1. Στερεά βιοκαύσιμα

Υπάρχουν τέσσερις βασικές ομάδες φυτικών ειδών που είναι πλούσια σε λιγνίνη και κυτταρίνη και είναι κατάλληλα για μετατροπή σε στερεά βιοκαύσιμα, όπως μπάλες, μπρικέτες, σφαιρίδια, chips και σκόνη. Αυτές είναι:

1. Ετήσια φυτά όπως τα δημητριακά, τα ψευδο-δημητριακά, η κάνναβη (*Cannabis sativa*), το κενάφ (*Hibiscus cannabinus*), το καλαμπόκι (*Zea mays*), η ελαιοκράμβη (*Brassica napus*), η μουστάρδα (*Sinapis alba*) και ο ηλίανθος (*Helianthus annuus*).
2. Πολυετή είδη που συγκομίζονται ετησίως, όπως ο μίσχανθος (*Miscanthus sacchariflorus*) και άλλα καλαμοειδή.
3. Ταχέως αναπτυσσόμενες ποικιλίες δέντρων όπως η λεύκα (*Populus sp.*) και η ιτιά (*Salix sp.*), με πολυετή ρυθμό συγκομιδής.
4. Είδη δέντρων με μακροχρόνιο κύκλο ανάπτυξης

Οι πρώτες ύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως μετά την μηχανική επεξεργασία και τη συμπίεση ή μετατρέπονται σε άλλους τύπους βιοκαυσίμων. Τα λιγνοκυτταρινούχα είδη φυτών έχουν το μεγαλύτερο δυναμικό από όλες τις πρώτες ύλες για βιομάζα, παγκοσμίως. Οι ακόλουθες βασικές διεργασίες είναι μείζονος σημασίας για τη μετατροπή της λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας σε καύσιμο κατάλληλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: α) Άμεση καύση βιομάζας για την παραγωγή υψηλής θερμότητας, β) προηγμένη αεριοποίηση για την παραγωγή αέριου καυσίμου μέσης αξίας θέρμανσης και γ) πυρόλυση για την παραγωγή βιο-πετρελαίου, με δυνατότητα αναβάθμισης για να δώσει υδρογονάνθρακες παρόμοιους με εκείνους του ορυκτού αργού πετρελαίου.

Η παραγωγή μεθανόλης ή υδρογόνου από ξυλώδης πρώτες ύλες (όπως τσιπς βιομάζας από ταχέως αναπτυσσόμενα δέντρα, μίσχανθο ή *Arundo donax*) μέσω διαδικασιών που αρχίζουν με θερμοχημική αεριοποίηση μπορεί να προσφέρει πολύ περισσότερη ενέργεια ανά εκτάριο από την παραγωγή αιθανόλης από άμυλο ή από καλλιέργειες με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα ή φυτικά έλαια.

Ωστόσο, η μεθανόλη και το υδρογόνο που προέρχεται από βιομάζα είναι πιθανό να είναι πολύ πιο ακριβά από ότι τα συμβατικά καύσιμα υδρογονανθράκων, εκτός εάν οι τιμές του πετρελαίου αυξηθούν σε επίπεδο που είναι πολύ υψηλότερο από τις αναμενόμενες τιμές κατά τις επόμενες δεκαετίες.

Η πλέον υποσχόμενη θερμοχημική τεχνολογία μετατροπής λιγνοκυτταρινικών πρώτων υλών που διατίθενται σήμερα φαίνεται να είναι η παραγωγή του πυρολυτικού λαδιού ή «βιο-πετρελαίου» (μερικές φορές ονομάζεται βιο-αργό πετρέλαιο). Αυτό το υγρό μπορεί να παραχθεί με ανάφλεξη ή ταχεία πυρόλυση σε ποσοστό έως και 80% κατά βάρος απόδοσης. Έχει τιμή θέρμανσης περίπου με το ήμισυ των συμβατικών ορυκτών καυσίμων, αλλά μπορεί να αποθηκευτεί, να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται συμβατικά υγρά καύσιμα, όπως λέβητες, κλιβάνους και πιθανώς σε στροβίλους. Μπορεί να αναβαθμιστεί εύκολα από υδρογονοκατεργασία και να τελειοποιηθεί σε βενζίνη και ντίζελ για χρήση ως καύσιμο στις μεταφορές. Επιπλέον, υπάρχει σημαντικό ανεκμετάλλευτο δυναμικό για παραγωγή και αξιοποίηση των εξειδικευμένων χημικών προϊόντων.

Οι τεχνολογίες για την παραγωγή βιο-πετρελαίου εξελίσσονται ταχύτατα ως προς τη βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας, για μεγαλύτερες αποδόσεις και καλύτερη ποιότητα των προϊόντων. Η μέθοδος της καταλυτικής αναβάθμισης φαίνεται αρκετά ελπιδοφόρα και δυναμική για την παραγωγή καυσίμων για μεταφορές και χημικά προϊόντα. Αυτή η μέθοδος βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης με έρευνες να βρίσκονται σε εξέλιξη σε πολλά εργαστήρια. Η χρησιμότητα των προϊόντων είναι μείζονος σημασίας για τη βιομηχανική υλοποίηση αυτών των τεχνολογιών και αυτό αποτελεί αντικείμενο έρευνας από διάφορα εργαστήρια και επιχειρήσεις. Η οικονομική βιωσιμότητα αυτών των διαδικασιών είναι πολύ ελπιδοφόρα μεσοπρόθεσμα και η ενσωμάτωσή τους σε συμβατικά συστήματα ενέργειας δεν παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα.

Ο άνθρακας κατασκευάζεται με παραδοσιακές διεργασίες αργής πυρόλυσης και παράγεται επίσης ως υποπροϊόν από την γρήγορη πυρόλυση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιομηχανικά σαν στερεό καύσιμο ή αφού υποστεί επεξεργασία (θέρμανση σε ελεγχόμενο περιβάλλον και σε κενό αέρα) να αναχθεί σε ενεργό άνθρακα.

Για την καλύτερη κατανόηση των ορυκτών καυσίμων (βενζίνη και πετρέλαιο κίνησης) και των βιοκαυσίμων (αιθανόλη και μεθανόλη) δίνεται ο Πίνακας 1 όπου

συγκρίνεται το περιεχόμενο ενέργειας από τα πιο κοινά βιοκαύσιμα και τα ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα έχουν μέσο περιεχόμενο ενέργειας που είναι περίπου ίσο με εκείνο του λιγνίτη (20 MJ/kg)

Πίνακας 1. Θερμαντική αξία καυσίμων

Καύσιμο	Θερμαντική αξία (MJ/kg)
Ξύλο	17
Άχυρο	14,5
Άνθρακας	32
Πετρέλαιο	42
Βενζίνη	46
Λιγνίτης	20
Υδρογόνο	144
Λιγνίνη	28
Κυτταρίνη	15
Βιοαέριο	61
Αιθανόλη	26,9
Μεθανόλη	19,5

### 1.2.2. Βιοκαύσιμα χλωρής βιομάζας

Η βιομάζα η οποία μπορεί να συγκομισθεί μόνο χλωρή και δεν μπορεί να ξηραθεί απευθείας στον αγρό μπορεί να αναβαθμιστεί ως πρώτη ύλη, μέσω της τεχνικής της ενσίρωσης, δηλαδή:

χλωρή βιομάζα → ενσίρωση → συμπίεση (μηχανική μείωση του νερού) → καύση (Scheffer, 1998). Μετά τη μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, η ενσιρωμένη βιομάζα με μηχανική συμπίεση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για θερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Διατηρείται σε σιλό, το οποίο έχει σταθερή βάση πάνω στο έδαφος με αυλάκια αποστράγγισης και συλλέκτη νερού.

Η μείωση του νερού με μηχανική συμπίεση μετατρέπει το ενσίρωμα σε καύσιμο με ελάχιστη περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία, περίπου 60%. Η προσθήκη άχυρου και σανού οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας σε ξηρή ουσία η οποία, με λιγότερη πίεση, καταλήγει σε ενσίρωμα με περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία 50%.

Τα καύσιμα με περιεκτικότητα σε νερό 40% έχουν 7% χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη από το ξηρό άχυρο που έχει 15% περιεκτικότητα σε νερό. Αυτή η ενεργειακή διαφορά προκύπτει από την εξάτμιση του νερού της υψηλότερης περιεκτικότητας σε

νερό βιομάζας κατά τη διάρκεια της καύσης, αν και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της εξάτμισης μπορεί να ανακτηθεί από την συμπύκνωση του ατμού.

Εκτός από τη μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, η συμπύεση παράγει μια πρόσθετη ποιοτική βελτίωση των καυσίμων. Έως και 50% του αζώτου του φυτού και 40-80% των μεταλλικών στοιχείων μεταφέρονται στο νερό που απομακρύνεται λόγω της συμπύεσης. Αυτό μειώνει τις εκπομπές NO<sub>x</sub> που προκαλούνται από το άζωτο, το σχηματισμό διοξινών χλωρίου και τις ζημιές από διάβρωση, ενώ η μείωση της περιεκτικότητας σε κάλιο αυξάνει το σημείο τήξης της τέφρας της. Οι αναλογίες των στοιχείων που παραμένουν στο ενσίρωμα είναι πολύ πιο κάτω από τα ανώτατα όρια που καθορίζονται από το τεχνικό προσωπικό των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. (Scheffer, 1998).

Εκτός από το άζωτο και όλα τα στοιχεία που είναι σημαντικά για την θρέψη των καλλιεργειών περιέχονται στα λύματα της συμπύεσης και στην στάχτη που παράγεται από την καύση. Μερικώς κλειστός κύκλος των θρεπτικών ουσιών μπορεί να επιτευχθεί όταν η απορροή και οι στάχτες επαναχρησιμοποιηθούν στις καλλιέργειες.

### **1.2.3. Βιοαέριο**

Το βιοαέριο αποτελείται από παρόμοια ποσοστά μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα και παράγεται από την αναερόβια ζύμωση των υγρών οργανικών πρώτων υλών με μια διαδικασία που ονομάζεται «Βιομεθάνωση». Η Βιομεθάνωση έχει μεγάλη σημασία στη διάθεση των οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων που προκύπτουν από τη μεταποίηση γεωργικών προϊόντων και την κτηνοτροφία, λόγω του ότι την παρούσα περίοδο ο περιβαλλοντικός προσανατολισμός είναι πρωταρχικής σημασίας.

Η καλλιέργεια των φυτών με στόχο την παραγωγή βιοαερίου δεν εφαρμόζεται σχεδόν ποτέ, παρόλο που υπάρχει μια σειρά από χλωρά φυτά που είναι κατάλληλα σε νωπή ή σε ενσιρωμένη μορφή για την παραγωγή βιοαερίου. Μέσα από την βιομεθάνωση, ένα ευρύ φάσμα χλωρών φυτών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ενέργεια, διότι, σε αντίθεση με την καύση, η πρώτη ύλη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην φυσική της υγρή κατάσταση. Ωστόσο, αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη επειδή ορισμένες θεμελιώδεις προϋποθέσεις δεν πληρούνται.

Τα πιο κατάλληλα φυτικά είδη για την παραγωγή βιοαερίου είναι εκείνα που είναι πλούσια σε εύκολα διασπώμενους υδατάνθρακες, όπως σάκχαρα και πρωτεϊνικές ύλες. Σύμφωνα με τις έρευνες των Zauner και Küntzel (1986), οι αποδόσεις σε μεθάνιο από τον αραβόσιτο (*Zea mays*), το καλάμι (*Arundo donax*) και την πολυετή ήρα (*Lolium rigidum*) μετά από ενσίρωση και ζύμωση ήταν πανομοιότυπες.

Πρώτες ύλες από φυτικά είδη με υψηλό περιεχόμενο σε λιγνοκυτταρίνη δεν είναι κατάλληλες για την παραγωγή βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου από τα λιγνοκυτταρική βιομάζα έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ περίπλοκη, και ο έλεγχος της διαδικασίας ζύμωσης είναι πολύ ακριβός και παρουσιάζει σφάλματα. Εκτός αυτού, για μια αποδεκτή ποσότητα βιοαερίου από φυτικές πρώτες ύλες, η παραγωγή πρώτων υλών θα πρέπει να είναι συνεχής, μακροπρόθεσμη και σταθερή.

### **1.3. Από που παράγονται τα βιοκαύσιμα**

Τα βιοκαύσιμα παράγονται από :

#### **1.3.1. Βιολογικά απόβλητα**

Χρησιμοποιώντας βιομάζα που προέρχεται από βιολογικά απόβλητα για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να μειωθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων, να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να μειωθεί η ρύπανση και τα προβλήματα διαχείρισης αποβλήτων. Μια πρόσφατη δημοσίευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης [2014/0100, 24-03-2014], επισήμανε την δυνατότητα της βιοενέργειας που προέρχεται από τα απόβλητα να συμβάλλει στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η έκθεση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου θα είναι διαθέσιμοι από βιομάζα έως το 2020, με το 46% να προέρχεται από βιο-απόβλητα: αστικά στερεά απόβλητα MSW (Municipal Solid Waste), γεωργικά κατάλοιπα και κτηνοτροφικά απόβλητα.

#### **1.3.2. Ενεργειακά φυτά**

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι φυτά τα οποία καλλιεργούνται με χαμηλό κόστος για παραγωγή βιοκαυσίμων και αξιοποιούνται άμεσα για το ενεργειακό τους περιεχόμενο.

Μέσω της γενετικής τροποποίησης και της εφαρμογής της βιοτεχνολογίας τα φυτά μπορεί να τροποποιηθούν ώστε να έχουν μεγαλύτερη απόδοση, να μειώνουν τις σχετικές δαπάνες και να απαιτούν λιγότερο νερό. Ωστόσο, η υψηλή ενεργειακή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί και με τις υπάρχουσες καλλιέργειες, κυρίως του αραβοσίτου.

Τα κυριότερα ενεργειακά φυτά της Ελλάδος παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

### **1.3.2.1 Ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L)**

Η ελαιοκράμβη είναι ετήσιο φυτό, και ανήκει στη οικογένεια των Σταυρανθών ή Βρασσικιδών. Τα ινδικά σανσκριτικά γραπτά του 2000 έως 1500 π.Χ. αναφέρονται άμεσα στην ελαιοκράμβη και μουστάρδα, όπως και τα ελληνικά, ρωμαϊκά και κινεζικά γραπτά από 500 έως 200 π.Χ. (Downey and Röbbelen, 1989). Στην Ευρώπη, η εξημέρωση πιστεύεται ότι συνέβη ήδη από τον 16ο αιώνα. Εκείνη την εποχή το έλαιο χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως λάδι για λαμπτήρες. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε ως λιπαντικό για ατμομηχανές. Από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, ως αποτέλεσμα της βελτιωμένης ποιότητας του πετρελαίου και των γευμάτων, η παραγωγή ελαιοκράμβης στην Ευρώπη και τον Καναδά έχει αυξηθεί δραματικά. Η Κίνα, η Ινδία, η Ευρώπη και ο Καναδάς είναι σήμερα οι κορυφαίοι παραγωγοί, αν και υπάρχουν δυνατότητες καλλιέργειας και στην Αυστραλία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Νότια Αμερική.

Η παραγωγή ελαιούχων σπόρων *Brassica* έχει αυξηθεί τα τελευταία 40 χρόνια και έχει καταστεί μία από τις σημαντικότερες παγκόσμιες πηγές φυτικών ελαίων μετά από σπόρους σόγιας και βαμβακιού. Η μεγαλύτερη έκταση ελαιούχων σπόρων *Brassica* βρίσκεται στην Ινδία. Λόγω των χαμηλών αποδόσεων σπόρων, η συνολική παραγωγή στην Ινδία είναι χαμηλότερη από την Κίνα και τον Καναδά. Οι υψηλότερες αποδόσεις σπόρων λαμβάνουν χώρα στην Ευρώπη (Γαλλία, Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο) με μέσες αποδόσεις περίπου 3,0 τόνους / εκτάριο, περισσότερες από δύο φορές τις αποδόσεις σπόρων που έχουν ληφθεί στον Καναδά και την Αυστραλία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στην Ευρώπη, οι χειμερινές ετήσιες μορφές του *B. napus* καλλιεργούνται υπό ευνοϊκές συνθήκες καλλιέργειας, οι οποίες είναι πολύ πιο παραγωγικές από τις καλοκαιρινές ετήσιες μορφές *B. napus* που καλλιεργούνται στον Καναδά (Kimber and McGregor 1995). Περισσότερο από το ήμισυ του ελαίου που διατίθεται στο εμπόριο διεθνώς είναι εκλεπτυσμένο στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Πολλαπλασιάζεται με σπόρο και καλλιεργείται κυρίως σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή ελαίου και σε μικρότερη έκταση για τα φύλλα της. Μετά την εξαγωγή του ελαίου, τα υπολείμματα της, η λεγόμενη πίτα, χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία καθώς είναι πλούσια σε πρωτεΐνη. Η ελαιοκράμβη θεωρείται παγκοσμίως ως το τρίτο σημαντικότερο ελαιοπαραγόγο φυτό, μετά τη σόγια και το φοινικέλαιο. Ο μικρός στρογγυλός σπόρος της έχει κατά μέσο όρο μεγάλη περιεκτικότητα σε λάδι (30-50%) και η πίτα της είναι πολύ πλούσια σε πρωτεΐνη (10-45%). Οι τεχνικές καλλιέργειας είναι όμοιες με εκείνες των χειμερινών σιτηρών.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την συγκομιδή ώστε η υγρασία του σπόρου να κυμαίνεται από 9-12%. Έχει πολύ μεγάλη σημασία ο χρόνος συγκομιδής της ελαιοκράμβης για την αποφυγή της απώλειας σε σπόρο από τις υψηλές θερμοκρασίες που συνοδεύονται από τα ξηρά και τα θερμά ρεύματα.

Από 120 kg σπόρου παράγονται 43-90 kg βιοντίζελ.



Εικόνα 1: Άνθη ελαιοκράμβης

### 1.3.2.2 Ηλίανθος (*Helianthus annuus*)

Ο ηλίανθος είναι ετήσιο φυτό και ανήκει στην οικογένεια Compositae. Σύμφωνα με τον FAO, η συνολική παγκόσμια παραγωγή έφθασε στα 24,2 εκατ. τόνους το 2002 και σε 195 εκατ. στρέμματα το 2014. Από αυτά, περισσότερα από 100 εκατ. στρέμματα καλλιεργήθηκαν στην Ευρώπη με 1 0,17 εκατ. στρέμματα στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα, ο ηλίανθος θεωρείται σημαντικό φυτό, και η καλλιέργεια του συγκεντρώνεται κυρίως στο βορειοανατολικό μέρος της χώρας. Καλλιεργείται κυρίως ως πηγή φυτικού ελαίου διατροφής.

Η καλλιέργεια σπόρου αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω της ανάγκης πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Αυτή είναι μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων στον κόσμο σήμερα. Οι σπόροι αυτού του είδους έχουν περίπου 47% λιπίδια στη σύνθεσή τους, τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε έλαιο, τόσο για οικιακή χρήση όσο και για παραγωγή βιοκαυσίμων (Gazzoni, 2005).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.25) είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοντίζελ (1.504.000 τόνοι το 2003) σε παγκόσμιο επίπεδο. (Biofuels Barometer-June 2004, EUROSERVER). Από ένα στρέμμα ηλίανθου παράγονται κατά μέσο όρο 120-210 kg σπόρου με αντίστοιχη παραγωγή 43-75 l βιοντίζελ.



Εικόνα 2: Άνθος ηλίανθου



### 1.3.2.3 Σόγια (*Glycine max*)

Η σόγια είναι ένα όσπριο που αναπτύσσεται στα τροπικά και υποτροπικά κλίματα. Αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή υψηλής ποιότητας πρωτεΐνης και ελαίων. Η σόγια έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (40%) από όλες τις καλλιέργειες και μια από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε λάδι (20%). Συγκρινόμενη με άλλα τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, όπως το κρέας, τα ψάρια και τα αυγά, η σόγια είναι κατά πολύ φτηνότερη. Το σπορέλαιο που παράγεται από τη σόγια είναι ιδιαίτερα εύπεπτο και δεν περιέχει χοληστερόλη.

Η σόγια βρίσκει μια κύρια θέση στα συστήματα γεωργικής παραγωγής πολλών χωρών, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, της Κίνας, της Βραζιλίας και της Αργεντινής. Γνωρίζοντας τη σημασία της σόγιας, έχουν αναληφθεί εκτεταμένες προσπάθειες σε παγκόσμιο επίπεδο για να γίνουν γενετικές βελτιώσεις σε αυτήν μέσω της συμβατικής αναπαραγωγής, η οποία έχει συμπληρωθεί από γονιδιοματική και τεχνολογία μοριακών δεικτών τα τελευταία χρόνια. Η βελτίωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και η διατροφική ποιότητα των σπόρων σόγιας και η τροποποίηση του προφίλ λιπαρών οξέων του σογιέλαιου έχουν καταστήσει τη σόγια ως μία από τις πιο βιώσιμες εμπορικές καλλιέργειες. (Pratap et.al., 2015). Το φυτό της σόγιας έχει υψηλά επίπεδα προσαρμογής σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες καλλιέργειας με σημαντικό πλεονέκτημα το γεγονός ότι έχει την ικανότητα να δεσμεύει το ατμοσφαιρικό άζωτο με την βοήθεια ριζόβιων μικροοργανισμών.

Καλύτερη προσαρμογή στο περιβάλλον μπορεί να γίνει με την επιλογή α) της κατάλληλης ποικιλίας, β) της εποχής σποράς και γ) την πυκνότητα των αναπτυσσόμενων φυτών. Από ένα στρέμμα σόγιας παράγεται κατά μέσο όρο 160-240 kg σπόρος με αντίστοιχη παραγωγή 29-44 kg βιοντίζελ.



Εικόνα 3: Άνθη σόγιας

#### 1.3.2.4 Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris*)

Το ζαχαρότευτλο καλλιεργείται εμπορικά λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των ριζών τους σε σάκχαρα. Οι ρίζες των τεύτλων περιέχουν μέχρι 20% σάκχαρα (επί χλωρού βάρους), κάνοντας το τη δεύτερη πιο σημαντική πηγή σακχάρων μετά από το ζαχαροκάλαμο.

Το ζαχαρότευτλο μαζί με το ζαχαροκάλαμο αποτελούν τις μοναδικές σπουδαίες πηγές βιομηχανικής παραγωγής κρυσταλλικής ζάχαρης. Το ζαχαρότευτλο καλλιεργείται στην εύκρατη ζώνη, ενώ το ζαχαροκάλαμο στην τροπική και υποτροπική. Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει τελευταία για εξεύρεση νέων χρήσεων. Πιο σημαντική είναι η παραγωγή αιθανόλης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή πρώτη ύλη για τη χημική βιομηχανία (Vaughan & Geissler, 1998).

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ζαχαρότευτλων στην Ελλάδα χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, καθώς και για ζωοτροφή.

Η Γαλλία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοαιθανόλης από ζαχαρότευτλα στον κόσμο. Εκτιμάται ότι το 2003, το 80% (226.400 τόνοι) της παραγόμενης βιοαιθανόλης προήλθε από ζαχαρότευτλα, και το υπόλοιπο από άλλα δημητριακά φυτά. Από ένα στρέμμα ζαχαρότευτλα παράγονται κατά μέσο όρο 600 λίτρα βιοαιθανόλης.



Εικόνα 4: Ζαχαρότευτλο

### 1.3.3. Δασικές και γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

Υπάρχουν μερικές ακόμα παραδοσιακές καλλιέργειες, το τελικό προϊόν των οποίων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων και θεωρούνται επίσης ενεργειακές καλλιέργειες. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα: σιτάρι (*Triticum spp*), κριθάρι(*Hordeum vulgare*), φιστίκι αράπικο (*Arachis sp.*), σουσάμι (*Sesatum sp.*) και ο αραβόσιτος όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης και βιοντίζελ). Δυναμική καλλιέργεια θεωρείται επίσης αυτή του βαμβακιού, που καλλιεργείται σε μεγάλες εκτάσεις στην κεντρική Ελλάδα, με αυξητική τάση στην απόδοσή του, αφού σε μερικές περιπτώσεις η απόδοσή του φτάνει 5t/ha. Τα έλαια από τον σπόρο του βαμβακιού θεωρούνται σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ.

Εκτός των αροτραίων καλλιεργειών υπάρχουν και οι δασικές ενεργειακές καλλιέργειες που περιέχουν είδη με υψηλή περιεκτικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης. Στον πίνακα 2 αναφέρονται ενεργειακές καλλιέργειες που ευδοκιμούν ή μπορούν να ευδοκιμήσουν στον Ελλαδικό χώρο.

<b>ΔΑΣΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ευκάλυπτος:</b> <i>Eucalyptus globules</i></li><li>• <b>Ψευδακακία:</b> <i>Robinia pseudoacacia</i></li></ul>
<b>ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ</b>	<b>Πολυετείς</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Καλάμι:</b> <i>Arundo donax L.</i></li><li>• <b>Μίσχανθος :</b><i>Miscanthus sacchariflorus</i></li><li>• <b>Αγριαγκινάρα:</b> <i>Cynara cardunculus</i></li><li>• <b>Switchgrass:</b><i>Panicum virgatum</i></li></ul>
	<b>Ετήσιες</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Σόργο:</b> <i>Sorghum bicolor L.</i></li><li>• <b>Κενάφ:</b><i>Hibiscus cannabinus</i></li><li>• <b>Ελαιοκράμβη:</b> <i>Brassica napus</i></li><li>• <b>Σιτάρι:</b><i>Triticum arestivum</i></li><li>• <b>Ζαχαρότευτλο:</b><i>Beta vulgaris</i></li><li>• <b>Κριθάρι:</b><i>Hordeum sativum</i></li><li>• <b>Αραβόσιτος:</b><i>Zea mays</i></li><li>• <b>Ηλίανθος:</b><i>Helianthus annuus</i></li></ul>

Για την εγκατάσταση ενεργειακών καλλιεργειών, δασικών ή αροτραίων, πρέπει να αξιολογηθούν οι συνθήκες ζήτησης βιομάζας στην περιοχή καλλιέργειας, οι επιδράσεις στο φυσικό τοπίο, η ισορροπία βροχοπτώσεων και αποστράγγισης, οι

φυτικοί εχθροί και ασθένειες και η κλίση του εδάφους. Επίσης, πρέπει να εξασφαλίζεται η σωστή μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας, ώστε να είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο και να μην επιβαρύνεται με ιδιαίτερο κόστος.

#### **1.4. Βιοντίζελ**

Το Βιοντίζελ είναι ένα καύσιμο που αποτελείται από μονο-αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων μακράς αλύσου που προέρχονται από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη, και τα μίγματα αυτών. Παράγεται από μετεστεροποίηση, με την γλυκερίνη να παράγεται ως παραπροϊόν. Η ανάμειξη βιοντίζελ με πετρέλαιο ντίζελ προσφέρει βελτιωμένη λιπαντική ικανότητα και μειωμένες εκπομπές ρύπων. Σε όλο τον κόσμο, καταναλώνονται ετησίως ένα δισεκατομμύριο τόνοι του καυσίμου ντίζελ (Hanna et.al., 2005). Οι συνολικές πρώτες ύλες που παράγονται και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ανταγωνιστικά για τα τρόφιμα, για ζωοτροφές, και για βιομηχανικές εφαρμογές είναι περίπου 115εκατομμύρια τόνοι. Υποθέτοντας μια 1:1 κατά βάρος μετατροπή, αυτό αντιπροσωπεύει το 12% της μέγιστης χρήσης καυσίμων ντίζελ (Hanna et.al., 2005). Οι ευκαιρίες για το μέλλον του βιοντίζελ περιλαμβάνουν βελτιώσεις στην τεχνολογία μετατροπής, επέκταση στο ποσό των διαθέσιμων πρώτων υλών, και επιπρόσθετη αξία στο υποπροϊόν της γλυκερίνης.

##### **1.4.1. Αγορά καυσίμων ντίζελ**

Η χρήση του καυσίμου ντίζελ σε όλο τον κόσμο εκτιμάται ότι είναι 1,14 δις τόνοι (330 δισεκατομμύρια γαλόνια) ανά έτος. Οι Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν ένα κατ' εκτίμηση 18% από αυτό ή 205 εκατ. τόνους (60 δισεκατομμύρια γαλόνια) (USEIA 2004). Επειδή οι κινητήρες ντίζελ(ανάφλεξη με συμπίεση) είναι πιο αποτελεσματικοί από τους κινητήρες βενζίνης(ανάφλεξης με σπινθήρα) (45% έναντι 30%), υπάρχει η πιθανότητα η χρήση των κινητήρων ντίζελ στα οχήματα να αυξηθεί, αυξάνοντας έτσι την ζήτηση για το πετρέλαιο κίνησης (DOE 2003).

##### **1.4.2. Πρότυπα βιοντίζελ**

Αν το βιοντίζελ πρόκειται να γίνει αποδεκτό ως καύσιμο για κινητήρες ντίζελ, θα πρέπει να παράγεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι μεταβολές στις ιδιότητες και στα χαρακτηριστικά της απόδοσης να είναι μικρότερες ή ίσες με ότι ο καταναλωτής

είναι συνηθισμένος σε σχέση με το καύσιμο ντίζελ. Δεν είναι διαθέσιμο ένα ενιαίο, ευρέως αποδεκτό πρότυπο για το βιοντίζελ. Αντ'αυτού, το πρότυπο ASTM D6751 αναπτύχθηκε για τις Ηνωμένες Πολιτείες, το CEN EN14214 αναπτύχθηκε για την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) ενώ και άλλες περιφέρειες επίσης, έχουν δημιουργήσει εναλλακτικά πρότυπα. Μια προσπάθεια που πρέπει να γίνει για να εξασφαλιστεί η ποιότητα των καυσίμων βιοντίζελ είναι το πρόγραμμα πιστοποίησης National Biodiesel Boards BQ9000. Πολυάριθμοι παραγωγοί και έμποροι έχουν ήδη πιστοποιηθεί.

### 1.4.3. Πρώτες ύλες βιοντίζελ

Η ετήσια παραγωγή του βιοντίζελ αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς σε όλο τον κόσμο, από 10.000 τόνους (4.000.000 γαλόνια) το 2000 σε 2.000.000–3.500.000 τόνους (1 δισεκατομμύριο γαλόνια) το 2005 (Gubler, 2006). Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα περισσότερα νέα προϊόντα προϋποθέτουν ότι το σογιέλαιο θα είναι το έλαιο της επιλογής, με τα ζωικά λίπη να έρχονται ως μία μακρινή δεύτερη επιλογή.

Η παραγωγή σόγιας στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν 81.800.000 τόνοι το 2005 (Ash & Dohlman, 2006). Ακόμα κι αν το σογιέλαιο είναι το πιο διαθέσιμο λάδι σε όλο τον κόσμο, το να αναμένεται μια σημαντική αύξηση της παραγωγής σόγιας στις Ηνωμένες Πολιτείες φαίνεται να είναι σε σύγκρουση με την προβλεπόμενη αύξηση στην παραγωγή αιθανόλης και την συνακόλουθη αύξηση στην παραγωγή καλαμποκιού. Οι τυπικές αποδόσεις ανά εκτάριο είναι 568 λίτρα βιοντίζελ, από 2,9 t/ha σόγιας με 18% περιεκτικότητα σε λάδι, έναντι 3.760 l αιθανόλης με βάση την απόδοση των 9,4 t/ha αραβοσίτου και συντελεστή μετατροπής 400 λίτρα αιθανόλης ανά τόνο καλαμποκιού. Οι 2,4 t/ha πίτας σόγιας που απομένουν μετά την εξαγωγή του ελαίου θα πρέπει να ανταγωνιστούν στην αγορά τους 2,9 t/ha παραπροϊόντων σιτηρών που απομένουν μετά τη ζύμωση του άμυλου καλαμποκιού σε αιθανόλη.

Παρά το γεγονός ότι το σογιέλαιο είναι σήμερα η πρώτη ύλη που επιλέγεται στις Η.Π.Α και την Βραζιλία, δεν είναι η πρώτη επιλογή για την παραγωγή βιοντίζελ από το σύνολο της παγκόσμιας κοινότητας. Άλλα υλικά, όπως το φοινικέλαιο στην ΝΑ Ασία, η ελαιοκράμβη στην Αν. Ευρώπη και καλλιέργειες όπως ο ηλιάνθος και η φουντουκιά (*Corylus* sp.) στις Η.Π.Α. έχουν μεγαλύτερο δυναμικό στην παραγωγή ελαίων. Φυσικά, διάφορες ποικιλίες ελαιοδοτικών σπόρων προτιμούν συγκεκριμένες συνθήκες καλλιέργειας και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι ευρέως προσαρμοσμένες.

Τα ζωικά λίπη αποτελούν μια βιώσιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ, αλλά είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες, σε πολύ περιορισμένη βάση. Η συνολική παραγωγή λίπους εκτιμάται σε 15.000.000 τόνους ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα. Υποθέτοντας μια αναλογία 1:1 κατά βάρος, το σύνολο του ζωικού λίπους παγκοσμίως αντικαθιστά λιγότερο από το 2% του ντίζελ που χρησιμοποιείται σε ετήσια βάση.

Η ζήτηση για τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη για την παραγωγή βιοντίζελ θα καταστρέψουν γρήγορα κάθε πλεόνασμα. Οι απαιτήσεις που αντιπροσωπεύονται από ανταγωνιστικές χρήσεις, κυρίως τρόφιμα, θα οδηγήσει σε αύξηση των τιμών της πρώτης ύλης, οι οποίες είναι γνωστό ότι είναι το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής του βιοντίζελ.

Οι προβλέψεις για την παγκόσμια ζήτηση βιοντίζελ και η παραγωγική ικανότητα ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, αντανακλώντας στην ταχεία ανάπτυξη που συνδέεται με αυτή τη βιομηχανία. Η έρευνα του SRI Consultin's Marketing για το βιοντίζελ (Gubler, 2006) προβλέπει ότι η παγκόσμια ζήτηση θα ξεπεράσει τους 40.000.000 τόνους και η παραγωγική δυναμικότητα θα ξεπεράσει τους 80.000.000 τόνους μέχρι το 2010. Μια άλλη μελέτη, της παγκόσμιας αγοράς βιοκαυσίμων, εκτιμά ότι η παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ θα συνεχίσει να αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και θα φτάσει τους 11.000.000 τόνους (3.170.000.000 γαλόνια) μέχρι το 2010. Λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις αυτές, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ένας συγκεκριμένος ρυθμός ανάπτυξης, ωστόσο, είναι σαφές ότι η ακραία πίεση θα ασκείται από τις διαθέσιμες πρώτες ύλες. Οι προμήθειες πρώτων υλών θα πρέπει να επεκταθούν πέρα από 111.000.000 τόνους που παράγονται σήμερα αλλιώς το κόστος παραγωγής βιοντίζελ θα αυξηθεί, μειώνοντας έτσι την ανταγωνιστικότητά τους με βενζίνη και ντίζελ και αυξάνοντας έτσι την εξάρτησή τους από κυβερνητικά κίνητρα.

#### **1.4.4. Ευκαιρίες**

Η πρώτη ύλη αντιπροσωπεύει το 70-80% του κόστους παραγωγής βιοντίζελ, και σαφώς είναι ο βασικός παράγοντας που πρέπει να αξιολογηθεί, έχοντας βέβαια λάβει υπόψη την ανταγωνιστικότητα του βιοντίζελ με το καύσιμο ντίζελ βασισμένο στο πετρέλαιο. Ωστόσο, στο πλαίσιο της βιομηχανίας βιοντίζελ οι τεχνολογίες επεξεργασίας θα παίξουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των «μπροστάρηδων» της βιομηχανίας και στη μεγιστοποίηση κέρδους. Η χρήση του υποπροϊόντος θα είναι άλλος ένας παράγοντας, καθώς η ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοντίζελ έχει

ξεπεράσει σε μεγάλο βαθμό τις αγορές γλυκερίνης, τόσο ως ακατέργαστο προϊόν όσο και στη φαρμακευτικού επιπέδου μορφή της.

Η διαθεσιμότητα πρώτων υλών για την παραγωγή βιοντίζελ, παγκοσμίως, είναι σημαντική. Πρόσθετες πηγές περιλαμβάνουν διευρυμένη παραγωγή ελαιούχων σπόρων, ποικιλίες υψηλές σε περιεκτικότητα λαδιού, και φυτικά είδη με υψηλότερη περιεκτικότητα σε λάδι. Στις Η.Π.Α., εκτιμάται ότι, επεκτείνοντας την παραγωγή ελαιούχων σπόρων τόσο με την παράλληλη απελευθέρωση 4.000.000 εκταρίων παραγωγικής γης από τα κυβερνητικά προγράμματα περί παύσης των καλλιεργειών όσο με την εναλλαγή άλλων 8.000.000 εκταρίων για παραγωγή σπόρων, θα μπορούσαν να παράγουν 2.100.000 και 4.200.000 τόνους επιπλέον πρώτες ύλες φυτικών ελαίων, αντίστοιχα. Αν η μέση απόδοση σογιέλαιου μπορούσε να αυξηθεί στο 20%, έναντι της τρέχουσας 18%, το οποίο έχει αποδειχθεί πιθανό με διάφορες βελτιωμένες ποικιλίες, 800.000 επιπλέον τόνοι φυτικού ελαίου θα ήταν διαθέσιμοι. Επίσης, αν μελλοντικές βελτιώσεις θα μπορούσαν να αυξήσουν τις αποδόσεις σε έλαιο στο 22%, ένα πρόσθετο 1.600.000 τόνων θα ήταν διαθέσιμο. Εάν η ζήτηση του ελαίου, ξεπεράσει τη ζήτηση πρωτεΐνης, η παραγωγή σόγιας θα μπορούσε να αντικατασταθεί με υψηλότερης απόδοσης ελαιοδοτικές καλλιέργειες, όπως ο ηλίανθος και η ελαιοκράμβη, που παράγουν πάνω κάτω 500 l/ha περισσότερο λάδι από τη σόγια. Υποθέτοντας την παραγωγή σόγιας στα 29.000.000 εκτάρια και μια 20% μετατροπή σε υψηλότερης απόδοσης ελαιοδοτικές καλλιέργειες, επιπλέον 2.600.000 τόνοι θα ήταν διαθέσιμοι. Συνολικά, η μετατροπή όλων των υφιστάμενων και δυνητικών πρώτων υλών στις Η.Π.Α., δε μπορεί να παράγει περισσότερο από 12% της εγχώριας ζήτησης ντίζελ. Ως εκ τούτου, το βιοντίζελ θα καταναλώνεται από εξειδικευμένες αγορές όπως σε μείγματα 20% βιοντίζελ-πετρελαίου, για τα οφέλη εκπομπών ή σε μείγματα 5% ή χαμηλότερα, όπως το πρόσθετο λιπαντικό στα καύσιμα ντίζελ με εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Οι νέες τεχνολογίες επεξεργασίας αναμένεται να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του βιοντίζελ. Η σημαντικότερη βελτίωση αναμένεται να προέλθει από την χρήση ετερογενών συστημάτων καταλυτών. Τέτοιοι καταλύτες έχουν την δυνατότητα να εξαλείψουν την ανάγκη πλυσίματος με νερό για να απομακρύνουν τους περισσότερους ρύπους, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά έξοδα. Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα που υπάρχουν στις πρώτες ύλες μπορούν να μετατραπούν ταυτόχρονα σε εστέρες αλκοόλης αντί να διαχωρίζονται ή να

χρησιμοποιούνται για σκοπούς χαμηλής αξίας. Ακόμη, ένα άλλο δυνητικό πλεονέκτημα είναι ότι θα λαμβάνεται γλυκερίνη υψηλότερης ποιότητας.

Η γλυκερίνη, ένα υποπροϊόν της παραγωγής βιοντίζελ, έχει πολλές εμπορικές χρήσεις. Η τρέχουσα πλεονάζουσα προσφορά της γλυκερίνης μπορεί να επιβραδύνει τη βιομηχανία βιοντίζελ στο εγγύς μέλλον έως ότου αναπτυχθούν νέες αγορές για την ακατέργαστη γλυκερίνη, ή εναλλακτικές αγορές για την εξευγενισμένη γλυκερίνη.

Σε μακροπρόθεσμη βάση, οι πιο κερδοφόρες εγκαταστάσεις θα εντοπίσουν τις αγορές για να «αρπάξουν» τη σημαντική αξία της γλυκερίνης. Επί του παρόντος, η ευκαιρία που αναφέρεται πιο συχνά είναι ότι χρησιμοποιούμε τη γλυκερίνη για την παραγωγή 1,4 προπανοδιόλης, ένα βασικό χημικό προϊόν και πρόδρομος για άλλα προϊόντα.

Προσθέτοντας αξία σε άλλα υποπροϊόντα της παραγωγής βιοντίζελ, ή τουλάχιστον διατηρώντας την αξία τους, θα ενισχυθεί η οικονομική βιωσιμότητα της βιομηχανίας βιοντίζελ. Τα άλευρα ελαιούχων σπόρων χρησιμοποιούνται κυρίως ως ζωοτροφές. Η αξία τους ως τροφή ή συμπλήρωμα είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, της ποιότητας της πρωτεΐνης και της ανάγκης για πρόσθετη επεξεργασία.

## 1.5. Πλεονεκτήματα

Ως προϊόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το βιοντίζελ είναι καθαρό, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο καύσιμο ενώ δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και οι εκπομπές των ρυπαντών οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης που προέρχονται από την καύση του στις μηχανές ντίζελ είναι πολύ χαμηλές. Η παρουσία του θείου στα καύσιμα ευθύνεται για τα οξείδια του θείου ( $SO_x$ ) στα καυσαέρια τα οποία αποτελούν έναν από τους κυριότερους ρύπους του ντίζελ. Στο βιοντίζελ η περιεκτικότητα σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική. Επίσης, το βιοντίζελ περιέχει αρκετό οξυγόνο (περίπου 10% κ.β.) που καθιστά την καύση λιγότερο ατελή, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC) και σε αιθάλη να είναι πολύ μικρότερη παρότι στο συμβατικό ντίζελ. Επιπλέον, η καύση του βιοντίζελ δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου), αφού η



ποσότητα του CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης αφομοιώνεται στη συνέχεια από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει το τυπικό προφίλ εκπομπών από την καύση του καθαρού βιοντίζελ(B100), αλλά και ενός από τα πλέον συνηθισμένα μίγματά του με συμβατικό ντίζελ το οποίο αποτελείται από 20% βιοντίζελ και 80% ντίζελ (B20),χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς την καύση του πετρελαϊκού ντίζελ.

Πίνακας4. Διαφορές εκπομπών B100 και B20 σε σύγκριση με το συμβατικό ντίζελ. ΌπουB100 (100% Βιοντίζελ), B20 (μίγμα αποτελούμενο από 20% Βιοντίζελ και 80% ντίζελ).

Εκπομπή	B100*	B20*
Μονοξείδιο του άνθρακα	-48%	-12%
Ακαυστοι υδρογονάνθρακες	-67%	-20%
Σωματίδια	-47%	-12%
Οξείδια του αζώτου	+10%	+2%
Οξείδια του θείου	-100%	-20%
Τοξικά αέρια	-60% έως -90%	-12% έως -20%

Εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο το βιοντίζελ εμφανίζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με το συμβατικό ντίζελ, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτό, όπως μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης, οπότε είναι ασφαλέστερο στη χρήση, μικρότερη ποσότητα θείου αλλά μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του οξυγόνου που περιέχει και μεγαλύτερο αριθμό κετανίων. Η μείωση του περιεχόμενου θείου που επιβάλλεται στα ορυκτά καύσιμα έχει αρνητική επίδραση στη λίπανση του κινητήρα γιατί μειώνονται οι λιπαντικές ενώσεις του θείου. Έτσι, τα διυλιστήρια κάνουν χρήση πανάκριβων και ταυτόχρονα μη βιοαποικοδομήσιμων πρόσθετων για την επαναφορά της λιπαντικότητας του καυσίμου. Η προσθήκη, όμως, του βιοντίζελ στο πετρελαϊκό ντίζελ, ακόμα και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 1% κ.β. επαναφέρει τη λιπαντική ικανότητα του καυσίμου, οπότε με τη χρήση του βιοντίζελ παρατείνεται η ζωή του πετρελαιοκινητήρα και τα διυλιστήρια εξοικονομούν αρκετά χρήματα. Ο μεγαλύτερος αριθμός κετανίων που παρουσιάζει το βιοντίζελ έναντι του συμβατικού ντίζελ αντισταθμίζει το γεγονός ότι κατά την καύση του το βιοντίζελ απελευθερώνει ενέργεια μικρότερη από την ενέργεια που απελευθερώνει το συμβατικό ντίζελ. Έτσι η απόδοση ενός πετρελαιοκινητήρα που κινείται με καθαρό βιοντίζελ κυμαίνεται τουλάχιστον στα επίπεδα του συμβατικού ντίζελ. Επίσης, το βιοντίζελ είναι

κατάλληλο για τους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες, όπου δεν χρειάζεται να γίνει σχεδόν καμία μετατροπή ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί αμιγές βιοντίζελ.

## 1.6. Μειονεκτήματα

Το βιοντίζελ έχει πολλά και βασικά πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ωστόσο υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα στην παραγωγή και την χρήση του. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του βιοντίζελ θεωρείται το κόστος του, που ξεπερνάει κατά μέσο όρο κατά 1\$ το συμβατικό ντίζελ. Παράλληλα, αυξάνει τα επίπεδα νιτρικών οξειδίων ( $\text{NO}_x$ ) στον αέρα που με την σειρά τους δημιουργούν το φαινόμενο της αιθαλομίχλης. Το βιοντίζελ έχει χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από το συμβατικό ντίζελ, μάλιστα το ενεργειακό περιεχόμενο του αυτούσιου βιοντίζελ (100%) είναι κατά 11% χαμηλότερο, όμως η χρήση μιγμάτων βιοντίζελ με συμβατικό ντίζελ μειώνει την συγκεκριμένη απώλεια ενέργειας στους κινητήρες. Για την παραγωγή του συγκεκριμένου καυσίμου απαιτούνται τεράστιες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης, λιπάσματα και εντομοκτόνα που επιβαρύνουν το περιβάλλον και συμβάλουν στην καταστροφή των τροπικών δασών. Σαν εναλλακτική λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα μελετάται η καλλιέργεια φυκιών όπου το 50% του βάρους τους είναι φυτικό έλαιο.

## 1.7. Ροή ενέργειας για την δημιουργία του βιοντίζελ

Οι ροή της ενέργειας κατά τη διάρκεια της ζωής του βιοντίζελ χωρίζεται στην άμεση και έμμεση ροή. Η άμεση ροή ενέργειας αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώνεται στη διαδρομή για την παραγωγή βιοντίζελ, όπως:

- α) Τα καυσόξυλα, ο ηλεκτρισμός, ο ατμός νερού και το πετρέλαιο που χρησιμοποιήθηκε σε γεωργικές εργασίες (η άροση πριν την σπορά, η διαχείριση και η συγκομιδή της καλλιέργειας) (Donato, 2007).
- β) Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της παραγωγής από τον αγρό στο εργοστάσιο και εκφράζονται ως μεταφορά του εμπορεύματος.
- γ) Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη διεργασία της ξήρανσης, (η οποία χρησιμοποιείται σε ένα φυτό με στόχο την μείωση του ποσοστού υγρασίας).
- δ) Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στη βιομηχανική διαδικασία της μετεστεροποίησης.

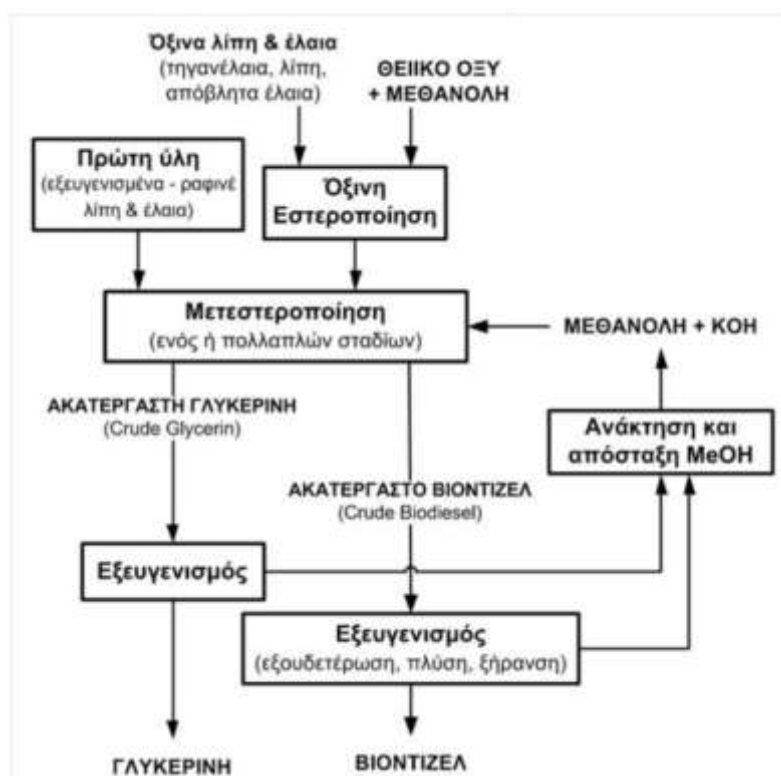
ε) Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την συντήρηση των κτιρίων,(η οποία προέρχεται από την υδροηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στη χώρα) αποτελούν την άμεση ροή ενέργειας.

Η έμμεση ροή ενέργειας περιλαμβάνει τις ποσότητες των γεωργικών εφοδίων (σπόροι, λιπάσματα, αγροχημικά) προκειμένου να παραχθεί μια καθορισμένη ποσότητα παραγωγής ανά εκτάριο, η οποία θα ληφθείως πρώτη ύλη για να μετασχηματιστεί σε βιοκαύσιμο.

## **1.8. Παραγωγή βιοντίζελ**

Το βιοντίζελ είναι κατασκευασμένο από μετεστεροποίηση ελαίου, ηλίανθου κυρίως, σε ένα συνεχές σύστημα χρησιμοποιώντας κυρίως μεθανόλη και υδροξειδίου του καλίου ως καταλύτες και λαμβάνεται ως κύριο παραπροϊόν γλυκερίνη. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση ελαίων ή λιπών που περιέχουν ελεύθερη οξύτητα και σε πρώτη φάση τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε μεθυλεστέρα. Εναλλακτικό καύσιμο παράγεται από φυτικά έλαια, μετατρέποντας τα τριγλυκερίδια σε μεθυλεστέρες ή αιθυλεστέρες. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται μέσω μιας μεθόδου γνωστής ως μετεστεροποίηση. Μετά την ολοκλήρωση της μετεστεροποίησης λαμβάνονται δύο βαρυτικά διαχωρισμένα κλάσματα. Το βαρύ της γλυκερίνης και το ακατέργαστο κλάσμα του βιοντίζελ. Τα συγκεκριμένα κλάσματα περιέχουν την περίσσεια της μεθανόλης, τα υπολείμματα του καταλύτη και υπολείμματα σαπώνων που έχουν σχηματιστεί. Για τον εξευγενισμό του βιοντίζελ ακολουθούνται τα στάδια εξουδετέρωσης του καταλύτη με οξύ, απομάκρυνση της περίσσειας μεθανόλης με εξάτμιση, πλύση με νερό για την απομάκρυνση των τελευταίων ιχνών επιμολύνσεων και στο τέλος ξήρανση για την απομάκρυνση της υγρασίας. Για τον εξευγενισμό της γλυκερίνης πραγματοποιείται οξίνιση με πυκνό οξύ, εξάτμιση της περίσσειας μεθανόλης και τέλος διαχωρισμός σε τεχνική γλυκερίνη και λιπαρά οξέα. Από όλη τη διεργασία εξευγενισμού ανακτάται μεθανόλη. Η μεθανόλη αποστάζεται σε καθαρότητα περίπου 99% και επαναχρησιμοποιείται.

Σχήμα 1. Μεθοδολογικό διάγραμμα ροής διεργασίας παραγωγής βιοντίζελ.



Αυτός ο διαχωρισμός χρειάζεται θερμοκρασία, έναν ισχυρό καταλύτη, όπως υδροξείδιο του καλίου και η αντίδραση να είναι πλήρης. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται γενικά για το σκοπό αυτό, αλλά και πολλές άλλες αλκοόλες, όπως η αιθανόλη, αλλά και το προπάνιο ή το βουτάνιο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η γλυκερίνη λαμβάνεται από την πλευρά του προϊόντος και αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες βιομηχανικές χρήσεις, καθιστώντας αυτό ένα θετικό παράγοντα από οικονομική άποψη (Ma & Hanna, 1999). Τα υψηλότερα άμεσα έξοδα ενέργειας παρουσιάζονται κατά το στάδιο της βιομηχανικής μετεστεροποίησης του βιοντίζελ λόγω της υψηλής χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτή τη φάση.

## 1.9. Ηλίανθος για την παραγωγή βιοντίζελ

Η καλλιέργεια του ηλίανθου στα λίγα χρόνια παρουσίας των ενεργειακών καλλιεργειών στη χώρα μας εμφανίζεται ως μία από τις πλέον αξιόπιστες λύσεις στη λίστα των ενεργειακών καλλιεργειών, προσφέροντας σταθερό εισόδημα με λίγη εργασία και ελάχιστη ή μηδενική άρδευση. Για αυτό η καλλιέργεια του φυτού αυτού φαίνεται να επιστρέφει δυναμικά τα τελευταία χρόνια στον Θεσσαλικό κάμπο.

Το βιοντίζελ προσφέρει πράσινη ενέργεια αφού συμβάλλει στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, εξασφαλίζοντας μειώσεις εκπομπών CO<sub>2</sub> που παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του είτε σε μείγμα με ντίζελ σε πετρελαιοκινητήρες. (Νάνος, 2016)

Η επιλογή της ενασχόλησης της διπλωματικής εργασίας με τον ηλίανθο οφείλεται στο ότι ο ηλίανθος είναι μια επένδυση ιδιαίτερα «χαμηλού ρίσκου» για τους αγρότες, επειδή έχει χαμηλό κόστος. Δεν απαιτείται, δηλαδή, παρά ο μισός προϋπολογισμός σε σχέση με την καλλιέργεια βαμβακιού και το ένα τρίτο των χρημάτων σε σύγκριση με το καλαμπόκι.

Εξαιτίας της μεγάλης ζήτησής του από τη βιομηχανία η καλλιέργεια του ηλίανθου στις περισσότερες των περιπτώσεων συμβασιοποιείται, εξασφαλίζοντας σταθερά κέρδη για τον παραγωγό.

Η παραγωγή βιοντίζελ αποτελεί συνάρτηση του ποσοστού ανάμιξης του βιοντίζελ στο συμβατικό ντίζελ. Σήμερα, το ποσοστό αυτό είναι περίπου 6,5%. Η συνολική ποσότητα βιοντίζελ που αναμίχθηκε με συμβατικό ντίζελ για το έτος 2011 ήταν περίπου 160.000 κυβικά. Οι στόχοι για μειώσεις ρύπων που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθιστούν μονόδρομο την αύξηση του ποσοστού ανάμιξης του βιοντίζελ στο συμβατικό ντίζελ.

Επίσης η εισαγωγή της πετρελαιοκίνησης στα αστικά κέντρα θεωρείται ότι θα συμβάλει στην αύξηση κατανάλωσης του ντίζελ και ως εκ τούτου και στο βιοντίζελ.

### 1.9.1. Περιγραφή ηλίανθου

Τα καλλιεργούμενα είδη του ηλίανθου κατάγονται από την Αμερική και πάρθηκαν στην Ισπανία από την Κεντρική Αμερική πριν από τα μέσα του δέκατου έκτου αιώνα. Καλλιεργούνταν από τους Ινδούς για τροφή και το έλαιο τους. Βελτιωμένες ποικιλίες αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη πριν από το 1600μ.Χ.. Οι ποικιλίες αυτές επανεισήχθησαν στις Η.Π.Α. και η καλλιέργεια του ηλίανθου ξεκίνησε.

Ο ηλίανθος προέρχεται από την Αμερική όπου ήταν παρών όταν έφτασαν οι Ευρωπαίοι. Έχει αναφερθεί να υπάρχει στην Αριζόνα και το Νέο Μεξικό το 3000 π.Χ. Ο Ισπανός εξερευνητής Monardes έφερε το φυτό στην Ευρώπη το 1569 μ.Χ. Ο τσάρος Πέτρος ο Μέγας έφερε το φυτό από την Ευρώπη στη Ρωσία, όπου η παραγωγή της την κατέταξε στην πρώτη θέση στον κόσμο (περίπου 16% στη Ρωσία και 9% στην Ουκρανία το 1999).

Τα τελευταία χρόνια, η καλλιεργούμενη έκταση του ηλίανθου στον κόσμο έχει αυξηθεί. Αυτό είναι κυρίως το αποτέλεσμα της αναπαραγωγής του νάνου υβριδίου υψηλής απόδοσης που διευκολύνει την εκμηχάνιση. Ένας άλλος λόγος είναι η έμφαση που δίνεται στα πολυακόρεστα λιπαρά που καταναλώνονται από τον άνθρωπο. Δεδομένου ότι το ηλιέλαιο είναι πλούσιο σε πολυακόρεστα λιπαρά, η κατανάλωσή του έχει αυξηθεί σημαντικά.

Ο ηλίανθος ανήκει στο γένος *Helianthus* της οικογένειας *Compositae*. Το γένος *Helianthus* ονομάστηκε χρησιμοποιώντας τα ελληνικά *Helios* που σημαίνει ήλιος και *Anthus*, που σημαίνει λουλούδι. Η ταξιανθία των φυτών της οικογένειας αυτής είναι κεφαλή στα οποία τα γόνιμα άνθη συγκεντρώνονται και συνορεύουν ακτινωτά. Τα άνθη αυτά είναι συνήθως άγονα και έχουν σκοπό την προσέλκυση των εντόμων.

Το γένος *Helianthus* περιλαμβάνει 67 ετήσια και πολυετή είδη. Ο καλλιεργούμενος ηλίανθος είναι ένα ετήσιο φυτό με την επιστημονική ονομασία *Helianthus annuus*. Είναι όρθιος, ετήσιος, με μια διακριτή, μεγάλη, χρυσή κεφαλή, οι σπόροι των οποίων συχνά τρώγονται και συνήθως συνθλίβονται για την παραγωγή λαδιού.

Το στέλεχος μπορεί να φτάσει τα 3m και η κεφαλή του λουλουδιού τα 30 cm σε διάμετρο και με μεγάλους σπόρους. Ο όρος «ηλιοτρόπιο» χρησιμοποιείται επίσης για όλα τα φυτά του γένους *Helianthus*, πολλά από τα οποία είναι πολυετή φυτά. Αυτό που συνήθως ονομάζεται λουλούδι είναι στην πραγματικότητα μια κεφαλή (τυπικά σύνθετο λουλούδι) που αποτελείται από πολλά μικρά ανθίδια (μικρά

λουλούδια). Τα εξωτερικά άνθη είναι στείρα και μπορεί να έχουν χρώμα κίτρινο, καφέ, πορτοκαλί, ή άλλα χρώματα. Τα άνθη μέσα στο κυκλικό της κεφαλής είναι που ονομάζονται μπουκετάκια του δίσκου, τα οποία ωριμάζουν σε αυτό που παραδοσιακά ονομάζονται «ηλιόσποροι», αλλά στην πραγματικότητα είναι ο καρπός (αχαίνιο) του φυτού. Ο βρώσιμος καρπός βρίσκεται μέσα σε περίβλημα και το αληθινό σπέρμα βρίσκεται εντός του πυρήνα. Τα άνθη εντός του συνόλου του ηλιάνθου είναι τοποθετημένα σε ένα σπειροειδές σχέδιο. Τυπικά κάθε ανθύλλιο είναι προσανατολισμένο προς το επόμενο κατά περίπου σε γωνία  $137,5^\circ$  παράγοντας ένα μοτίβο από σπείρες, όπου ο αριθμός των σπειρών αριστερά και ο αριθμός των σπειρών δεξιά είναι διαδοχικοί αριθμοί Fibonacci. Τυπικά, υπάρχουν 34 σπείρες σε μία κατεύθυνση και 55 στην άλλη. Σε ένα πολύ μεγάλο ηλιάνθο θα μπορούσαν να υπάρξουν 89 προς μία κατεύθυνση και 144 στην άλλη.

### 1.9.2. Οικολογικές απαιτήσεις

Ο ηλιάνθος είναι μια καλά προσαρμόσιμη καλλιέργεια σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες. Με το καλά ανεπτυγμένο ριζικό του σύστημα είναι μια από τις πιο ανθεκτικές στην ξηρασία καλλιέργειες και θεωρείται κατάλληλο για τις νότιες ημίξηρες χώρες. Ωστόσο, οι αποδόσεις του σε έλαιο μειώνονται σημαντικά αν τα φυτά καταπονούνται κατά τη διάρκεια της κύριας περιόδου ανάπτυξης και κατά την ανθοφορία. Υπό συνθήκες υδατικού στρες ο αριθμός και το μέγεθος των φύλλων μειώνεται. Ένας από τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται από τον ηλιάνθο για να αντισταθεί στο υδατικό στρες είναι ο μαρασμός. Σε ελεγχόμενα πειράματα αποδείχτηκε ότι επιτρέπει την μείωση της ποσότητας νερού στα φύλλα του σε μεγαλύτερο βαθμό κατά τη φωτοσύνθεση.

Ικανοποιητική συγκομιδή μπορεί να παραχθεί, χωρίς άρδευση, ακόμα και το χειμώνα σε περιοχές με βροχοπτώσεις περίπου 300mm.

Ο ηλιάνθος προσαρμόζεται καλά στις θερμές περιοχές της νότιας Ευρώπης. Η ανάπτυξη είναι ικανοποιητική όταν οι θερμοκρασίες δεν πέφτουν κάτω από  $10^\circ\text{C}$ , αλλά μπορεί να αντισταθεί πολύ και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τα νεαρά φυτά μπορούν να αντέξουν σε ψύχος μέχρι να φτάσουν στο στάδιο τεσσάρων έως έξι φύλλων και η ωρίμανση των σπόρων μπορεί να υποστεί μικρή ζημιά από τον ελαφρύ παγετό. Ο ηλιάνθος απαιτεί άφθονο ηλιακό φως χωρίς να τον επηρεάζει αρνητικά.

Ο ηλιάνθος μεγαλώνει σε ποικιλία εδαφών που κυμαίνονται από αμμώδη έως πηλώδη. Σε χαμηλής γονιμότητας εδάφη οι επιδόσεις του είναι καλύτερες σε



σύγκριση με άλλες καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, η πατάτα και το σιτάρι. Το καλύτερο εύρος pH είναι μεταξύ 6,5 έως 8. Θεωρείται ελαφρώς ευαίσθητο στα άλατα.

### 1.9.3. Διαχείριση καλλιέργειας

Το έδαφος για την σπορά του ηλίανθου θα πρέπει να προετοιμάζεται όπως και για το καλαμπόκι. Συνίσταται ελάχιστο όργωμα. Ωστόσο, λόγω του περικαρπίου των σπόρων απαιτείται έδαφος με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία για την ικανοποιητική βλάστηση. Ο σπόρος πρέπει να τοποθετείται σε υγρό χώμα και θα πρέπει να αποφεύγεται η ταχεία ξήρανση του.

Ο ηλίανθος είναι ικανός να βλαστήσει ακόμα και σε 5°C, αλλά στην πράξη απαιτούνται θερμοκρασίες πάνω από 10°C για την ικανοποιητική βλάστηση. Σε γενικές γραμμές, είναι δυνατόν να σπείρουμε ηλίανθο αρκετά νωρίς την άνοιξη πριν από άλλες θερινές καλλιέργειες, όπως το καλαμπόκι, το βαμβάκι και το σόργο. Συνήθως, οι πρώιμες φυτεύσεις οδηγούν σε υψηλότερες αποδόσεις σε σπόρο και υψηλότερη περιεκτικότητα των σπόρων σε έλαιο.

Ο βέλτιστος πληθυσμός φυτών είναι ένας βασικός παράγοντας για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή κάθε φυτό παράγει ένα μόνο δίσκο, έτσι ο ηλίανθος έχει περιορισμένη δυνατότητα απόδοσης όταν η απόκλιση από τον βέλτιστο αριθμό των φυτών είναι μεγάλη. Όταν η απόκλιση δεν είναι μεγάλη, μικρότεροι πληθυσμοί μπορούν να παράγουν μεγαλύτερους δίσκους, αλλά είναι συνήθως πιο άδειοι σε σπόρους στο κέντρο του δίσκου και, κατά συνέπεια, οι αποδόσεις του ηλίανθου μειώνονται.

Σε περιοχές με περισσότερο από 500 mm μέση ετήσια βροχόπτωση οι πληθυσμοί κυμαίνονται από 35.000 έως 60.000 φυτά ανά εκτάριο. Με άρδευση αριθμός των φυτών ανά εκτάριο είναι 25-50% υψηλότερος, αλλά η πιθανότητα άδειων δίσκων είναι επίσης υψηλότερη. Μια εμπειρική μέθοδος για τον προσδιορισμό της βέλτιστης πυκνότητας του πληθυσμού είναι η διάμετρος του δίσκου κατά την ωρίμανση. Εάν είναι μικρότερος από 12cm, η πυκνότητα των φυτών είναι πάρα πολύ υψηλή και εάν είναι μεγαλύτερο από 25 cm, η πυκνότητα των φυτών είναι πάρα πολύ χαμηλή.

Η φύτευση γίνεται με καλλιεργητή καλαμποκιού εξοπλισμένο με ειδικές πλάκες για ηλίανθο ή με ένα τρυπάνι σιτηρών. Οι αποστάσεις σποράς είναι 75 cm μεταξύ

των γραμμών. Κάτω από άρδευση αποστάσεις μεταξύ των σειρών 50-70cm και αποστάσεις εντός γραμμής 15-30cm δίνουν υψηλότερες αποδόσεις. Εάν είναι δυνατόν, οι γραμμές θα πρέπει να σπαρθούν με έναν ανατολικό-δυτικό προσανατολισμό, επειδή οι περισσότεροι από τους δίσκους παραμένουν προσανατολισμένοι προς την ανατολή και η μηχανική συγκομιδή είναι, συνεπώς, ευκολότερη. Απαιτούνται μεταξύ 5 και 15 kg / ha σπόρου.

Στις αρχές του σταδίου ανάπτυξης του ηλίανθου τα φυτά είναι ευαίσθητα στον ανταγωνισμό με τα ζιζάνια. Μια άροση πριν την εμφάνιση των ζιζανίων ακολουθούμενη από μια άροση στο στάδιο των σποροφύτων, συνιστάται. Πριν την σπορά και προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ορισμένων ζιζανίων.

Μεγάλες εκτάσεις ηλίανθου σε όλο τον κόσμο καλλιεργούνται χωρίς άρδευση, επειδή οι αγρότες προτιμούν να χρησιμοποιούν άρδευση για άλλες καλλιέργειες που εξαρτώνται περισσότερο από την άρδευση ή περισσότερο κερδοφόρες. Σε περιοχές με καλοκαιρινές βροχοπτώσεις η ανάπτυξη και παραγωγή είναι ικανοποιητική. Σε περιοχές με βροχοπτώσεις το χειμώνα, όπως στις περισσότερες περιοχές της νότιας Ευρώπης, παρόλο που λαμβάνονται ικανοποιητικές αποδόσεις χωρίς άρδευση σε σύγκριση με πολλές άλλες εαρινές καλλιέργειες, η ανταπόκριση του ηλίανθου στην άρδευση είναι πολύ έντονη. Στον ίδιο τομέα, οι αποδόσεις σε αρδευόμενες καλλιέργειες ηλίανθου έχει παρατηρηθεί αύξηση έως και 100% ή περισσότερο σε σύγκριση με μη ποτιστικά φυτά. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού εξαρτάται από τη γονιμοποίηση.

Σημαντική μείωση της απόδοσης παρατηρείται υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, κυρίως επειδή το ποσοστό των γόνιμων σπόρων μειώνεται ως αποτέλεσμα της κακής γονιμοποίησης και επειδή η διακοπή ανάπτυξης των λουλουδιών λίγο μετά τη γονιμοποίηση αυξάνεται σημαντικά. Κατά κανόνα, ένα ευνοϊκό καθεστώς υγρασίας του εδάφους πρέπει να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου από την διαφοροποίηση των οφθαλμών όταν ο οφθαλμός στην ταξιανθία έχει περίπου 15 mm διάμετρο, μέχρι τη συγκομιδή.

Στις μη αρδευόμενες περιοχές η ανταπόκριση του ηλίανθου στη λίπανση είναι πολύ περιορισμένη, όπως συμβαίνει με πολλές άλλες μη αρδευόμενες ανοιξιάτικες καλλιέργειες. Στις αρδευόμενες περιοχές χαμηλής γονιμότητας η αζωτούχος λίπανση είναι θετική. Συνιστάται ποσότητα λιπάσματος αζώτου από 50 έως 80kg/ha. Η εφαρμογή του αζώτου πρέπει να σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα σε φώσφορο και

κάλιο, γιατί αν αυτά είναι ανεπαρκή, το άζωτο περιορίζει συνήθως την απόδοση και την περιεκτικότητα σε έλαιο.

#### 1.9.4. Παραγωγή

Στις χώρες της νότιας Ευρώπης καλλιεργούνται συνολικά 2,66 εκατομμύρια εκτάρια ηλίανθου κάθε χρόνο, κυρίως για την παραγωγή ελαίου. Η ετήσια παραγωγή σπόρου ηλίανθου είναι ίση με 3,92 εκατομμύρια τόνους, με μέση απόδοση σε σπόρο τα 1473kg/ha. Ωστόσο, υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές στην παραγωγικότητα μεταξύ των διαφόρων χωρών της νότιας Ευρώπης. Αυτές σχετίζονται με τον τύπο του εδάφους, αλλά κυρίως με τις κλιματολογικές συνθήκες σε κάθε χώρα, καθώς και αν οι εκτάσεις είναι αρδευόμενες ή μη αρδευόμενες. Αν υποθέσουμε ότι κατά μέσο όρο η περιεκτικότητα σε έλαιο του αχάινιου ηλίανθου είναι 50% η παραγωγή ελαίου κυμαίνεται από 280kg/ha στην Πορτογαλία έως 1349kg/ha στην Ιταλία, με μέση συνολική απόδοση 738kg/ha.

Πρόσφατα, στις περιοχές της νότιας Ευρώπης, το ηλιέλαιο έχει θεωρηθεί ως ενεργειακή καλλιέργεια για την παραγωγή βιοντίζελ, όπως είναι η ελαιοκράμβη στις βόρειες περιοχές της Ευρώπης.

Ωστόσο, το βιοντίζελ του ηλίανθου μπορεί να παραχθεί μόνο κάτω από ισχυρά και συνεχώς οικονομικά κίνητρα (επιδότησεις ή/και φορολογικές απαλλαγές). Στην Ιταλία υπάρχουν φορολογικές απαλλαγές της τάξης των 125.000t/έτος για βιοντίζελ είτε από ηλίανθο ή από ελαιοκράμβη. Στη Γαλλία, υπάρχουν φορολογικές απαλλαγές για όλα τα υγρά βιοκαύσιμα, ενώ στην Ισπανία, την Πορτογαλία και την Ελλάδα δεν υπάρχουν κίνητρα για τα υγρά βιοκαύσιμα.

Ηλίανθοι επιλέχθηκαν για την έρευνα από το Πανεπιστήμιο του New Hampshire, λόγω της ικανότητάς τους να αναπτύσσονται καλά στην περιοχή και την υψηλότερη απόδοση τους σε έλαιο με εκτίμηση τα 130 γαλόνια βιοντίζελ ανά στρέμμα ηλίανθου.

Σε ένα πείραμα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου του Kingman φυτεύτηκαν πέντε ποικιλίες υβριδίων ηλίανθου σε αγρό 1,6ha, ενώ ένας κινητός σταθμός παραγωγής βιοντίζελ κατασκευάστηκε σε ρυμουλκούμενο όχημα. Όταν η πρώτη παρτίδα συγκομίστηκε, μία δεύτερη παρτίδα φυτεύτηκε. Οι μετρήσεις σε σπόρο και έλαιο λήφθηκαν για τον προσδιορισμό της οικονομικής βιωσιμότητας για τους καλλιεργητές του New Hampshire. Το βιοντίζελ παράχθηκε από ηλίανθο και στη

συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο αγρόκτημα και μέσω περαιτέρω έρευνας ελπίζεται να αποτελέσει μια νέα πρώτη ύλη που θα χρησιμοποιήσουν οι τοπικοί αγρότες για τις ενεργειακές τους ανάγκες, χωρίς να χρειάζεται να στηρίζονται σε κάτι που εισάγουν.

Υποθέτοντας μια τυπική απόδοση σε σπόρο ηλίανθου 1800kg/ha, όπως ελήφθησαν υπό κανονικές συνθήκες σε γόνιμα ξηρικά εδάφη και λαμβάνοντας υπόψη την ενεργειακή αξία του σπόρου, η καθαρή ενεργειακή αξία υπολογίζεται σε 36 έως 87GJ/ha και η αναλογία της ενέργειας εξόδου ως προς τις ενεργειακές εισροές περίπου σε 4,5:1. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται ότι είναι 10,49GJ/ha με τα λιπάσματα να αποτελούν τις κύριες εισροές.

Το 2008, μια ομάδα στην Αφρική υπολόγισε ότι ένα εκτάριο ηλίανθων θα μπορούσε να παράγει 600l έλαιο, ενώ ένα αγρόκτημα 100ha θα μπορούσε δυνητικά να είναι σε θέση να παράγει επαρκή ποσότητα καυσίμων για να οργωθούν 10ha και να σπαρθούν και τα 100ha αυτής της γεωργικής γης.

Η παγκόσμια παραγωγή σπόρων ηλίανθου ήταν περίπου 30 εκατομμύρια τόνους το 1999 και αναφέρθηκαν αποδόσεις μεταξύ 500 και 2600kg/ha. Το σύνολο των σπόρων περιέχει περίπου 40% έλαιο και περίπου το 25% πρωτεΐνη κατάλληλη για τη διατροφή των ζώων. Τα τριγλυκερίδια αποτελούν την κύρια κατηγορία λιπιδίων στους ηλιόσπορους. Φωσφολιπίδια και γλυκολιπίδια αποτελούν το λιγότερο από το 4% του συνόλου των λιπιδίων.

### **1.9.5. Συγκομιδή**

Οι κεφαλές του ηλίανθου θα πρέπει να είναι πλήρως ώριμες πριν από τη συγκομιδή. Εκτιμάται ότι κατά την διάρκεια των τελευταίων 14 ημερών της ωρίμανσης η ξηρά ουσία των σπόρων μπορεί να αυξηθεί κατά 50-100%. Ωστόσο, η ωρίμανση των σπόρων σε ένα κεφάλι δεν είναι ομοιόμορφη. Η καθυστέρηση της συγκομιδής έως ότου όλοι οι σπόροι να είναι πλήρως ώριμοι μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες που οφείλονται σε θραύση και σε ζημιές από τα πουλιά που τρώνε τους σπόρους. Μια πρακτική ένδειξη του αντίστοιχου σταδίου, για τη συγκομιδή είναι, όταν το πίσω μέρος της κεφαλής του ηλίανθου είναι κίτρινο και τα εξωτερικά βράκτια φύλλα αρχίζουν να μαυρίζουν. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτό το στάδιο μερικοί σπόροι περιέχουν έως και 50% υγρασία. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εξέταση της ασφαλούς αποθήκευσης, επειδή η μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία κατά την αποθήκευση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 9%.

Μερικές φορές, εφαρμόζεται αποξηραντικό πριν την συγκομιδή προκειμένου να διευκολυνθεί η συλλογή. Οι νάνες ποικιλίες συγκομίζονται με μηχανή συγκομιδής δημητριακών εξοπλισμένη με ένα ειδικό δέσιμο στην κεφαλή. Η κεφαλή του ώριμου ηλίανθου περιέχει περίπου το 50% της ξηράς ουσίας ολόκληρου του φυτού. Σχεδόν το μισό βάρος της αποξηραμένης κεφαλής είναι σπόρος.

Στις ποικιλίες για παραγωγή ελαίου το περικάρπιο αποτελεί το 22 έως 28% του βάρους του σπόρου και ο πυρήνας το 72 έως 78%. Οι πυρήνες είναι πλούσιοι σε έλαιο. Η μέση σύνθεση σε έλαιο του αχαινίου κυμαίνεται από 40 έως 50%, η περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνη από 15 έως 20% και η περιεκτικότητα σε ίνες από 10 έως 15%. Σε μη-ελαιούχες ποικιλίες το περικάρπιο αποτελεί το 45 έως 50% του βάρους του σπόρου και ο πυρήνας το 50 έως 55%. Αυτά τα αχαινία έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε έλαιο (30 έως 35%) και υψηλότερη περιεκτικότητα σε ίνες (20 έως 25%).

#### **1.9.6. Χρήσεις**

Εκτιμάται ότι το 90% της παραγωγής σπόρων ηλίανθου στον κόσμο συνθλίβεται για την παραγωγή ελαίου. Το ηλιέλαιο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητά του σε λινελαϊκό οξύ και μέση περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ. Το ηλιέλαιο που παράγεται σε δροσερά, βόρεια κλίματα συνήθως περιέχει 70% ή περισσότερο λινελαϊκό οξύ, ενώ το ηλιέλαιο που παράγεται στις θερμές περιοχές της νότιας περιέχει 30% λινελαϊκό οξύ. Υπάρχει συνήθως μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ λινελαϊκού και ελαϊκού οξέος. Το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως για κατανάλωση από τον άνθρωπο.

Στην καλλιέργεια ηλίανθου για την παραγωγή βιοντίζελ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, πέρα από τους σπόρους, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μεγάλες ποσότητες και από άλλα μέρη του φυτού για παραγωγή ενέργειας. Η καλλιέργεια του ηλίανθου παράγει σημαντική ποσότητα φυτικών υπολειμμάτων, κυρίως τα στελέχη, που παραμένουν στο έδαφος. Κατά μέσο όρο, τα υπολείμματα από τους βλαστούς υπολογίζονται ως διπλάσια σε βάρος από την παραγωγή σπόρων. Αυτά τα υπολείμματα έχουν υψηλή ακαθάριστη θερμαντική αξία περίπου 17 έως 18MJ/kg ξηράς ουσίας.

Επιπλέον, εάν η αποφλοιώση γίνεται πριν από τη διαδικασία εκχύλισης του ελαίου, παράγεται μια σημαντική ποσότητα φλοιών. Στα για εξαγωγή ελαίου υβρίδια, περίπου το 25% του βάρους του αχαινίου είναι ο φλοιός, ο οποίος αποτελείται από

ίσες αναλογίες λιγνίνης, πεντοζάνων και κυτταρινικού υλικού, αντιπροσωπεύοντας από 82 έως 86% του συνολικού βάρους. Αυτά τα υλικά έχουν επίσης υψηλή θερμαντική αξία. Η ακαθάριστη θερμαντική αξία είναι περίπου 17 MJ/kg ξηράς ουσίας.

Το μακροπρόθεσμο δυναμικό του ηλιέλαιου για την παραγωγή βιοντίζελ είναι αβέβαιο για τρεις βασικούς αγρονομικούς λόγους. Πρώτον, ο ηλίανθος είναι μια χαμηλής απόδοσης καλλιέργεια δίνοντας κατά μέσο όρο λιγότερο από 1 t/ha σε έλαιο. Δεύτερον, ως ένα παγκόσμιο καλλιεργούμενο φυτό έχει βελτιωθεί σημαντικά, οπότε στο μέλλον αναμένονται μικρές και δύσκολες μόνον βελτιώσεις. Τρίτον, σύμφωνα με τις ίδιες εδαφολογικές και κλιματικές συνθήκες πολλές άλλες καλλιέργειες βιομάζας δίνουν πολύ υψηλότερες αποδόσεις σε πρώτη ύλη που θα αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς. Για παράδειγμα, το αρδευόμενο καλαμπόκι μπορεί να δώσει, σε συνθήκες της νότιας Ευρώπης, περίπου 4000l/ha αιθανόλη, ενώ ο αρδευόμενος ηλίανθος δίνει μόνο 1000 έως 1200 kg/ha βιοντίζελ.

Παρόλα αυτά ο ηλίανθος απαιτεί το 1/3 των αναγκών του καλαμποκιού σε νερό, οπότε σε περιοχές με περιορισμένο ή ακριβό νερό (όπως η Θεσσαλία) πιθανότατα αξίζει περισσότερο η καλλιέργεια του ηλίανθου. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι το ηλιέλαιο αποτελεί και ανθρώπινο τρόφιμο με υψηλή διατροφική αξία κάτι που του προσδίδει μια σταθερή αξία και ένα αυξανόμενο μερίδιο στην αγορά μιας και η κατανάλωσή του αυξάνεται σταθερά τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η υψηλή του ποιότητα και η αξία του για την ανθρώπινη κατανάλωση σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της σημερινής ευρωπαϊκής παραγωγής ηλίανθου κατευθύνεται προς αυτήν την κατεύθυνση.

Το ηλιέλαιο, εξάγεται από τους σπόρους, χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα, για την παραγωγή μαργαρίνης και βιοντίζελ, καθώς είναι φθηνότερο από το ελαιόλαδο. Κάθε ποικιλία ηλίανθου περιέχει διαφορετική σύνθεση λιπαρών οξέων. Μερικοί “υψηλού ελαϊκού” τύποι περιέχουν υψηλότερο επίπεδο υγιεινών μονοακόρεστων λιπαρών στο λάδι τους, ακόμη και από το ελαιόλαδο.

Σε μια μελλοντική ανταγωνιστική αγορά για τα υγρά βιοκαύσιμα από αυστηρά γεωπονική άποψη, το βιοντίζελ από ηλίανθο ίσως είναι σε μειονεκτική θέση να ανταγωνιστεί τα άλλα υγρά βιοκαύσιμα, όπως η βιοαιθανόλη από καλαμπόκι.

Ο ηλίανθος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση τοξικών συστατικών από το έδαφος, όπως ο μόλυβδος, το αρσενικό και το ουράνιο. Έχει

χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση του ουρανίου, καισίου Cs-137 και του στρόντιου Sr-90 από το έδαφος μετά το ατύχημα του Τσέρνομπιλ (Chernobyl).

### **1.9.7. Συλλογή ελαίου από ηλίανθο**

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την συλλογή ελαίου από ηλίανθο είναι ένα μικτό σύστημα, το μηχανικό (συμπίεση) και το χημικό (εκχύλιση με διαλύτη). Μόλις έχει συγκομισθεί ο ηλίανθος, πρέπει να καθαριστεί, να ξηραθεί και να αποθηκευτεί υπό κατάλληλες συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αποθήκευσης η πρώτη ύλη αποθηκεύεται στην μορφή πίτας για να είναι σε ρυθμιζόμενη υγρασία και οξύτητα. Το έλαιο εξάγεται με συμπίεση και με τη χρήση καταλυτών. Ανάλογα με το είδος του καταλύτη που θα χρησιμοποιήσουμε (ομογενής ή ετερογενής) διαφοροποιούνται και οι απαιτήσεις της πρώτης ύλης σε υγρασία και οξύτητα. Το καθαρό έλαιο διαχωρίζεται από τον καταλύτη και στη συνέχεια ο καταλύτης απομακρύνεται και αποξηραίνεται. Έτσι παράγεται το τελικό έλαιο, μεταποιημένα πέλετς και καταλύτης που επαναχρησιμοποιείται.

### **1.10. Ενεργειακές καλλιέργειες και χρήσεις γης**

Τα βιοκαύσιμα είναι ένα είδος καυσίμου του οποίου η ενέργεια προέρχεται από τη βιολογική δέσμευση του άνθρακα και περιλαμβάνουν καύσιμα που προέρχονται από τη μετατροπή στερεής βιομάζας, υγρών βιοκαυσίμων και διάφορων βιοαερίων.

Παρόλο που ο σκοπός της παραγωγής βιοκαυσίμων είναι να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική λύση των ορυκτών καυσίμων, η βιωσιμότητα τους έχει επικριθεί συχνά. Σε αυτό το πλαίσιο, η αλλαγή χρήσης της γης είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Πράγματι, λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοσιακές αποδόσεις των ενεργειακών καλλιεργειών, τεράστιες ποσότητες νερού και γης θα χρειαστούν για την παραγωγή αρκετής βιομάζας για τη σημαντική μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Υπάρχει επίσης μια ευρεία συζήτηση σχετικά με την αύξηση της ζήτησης της βιομάζας στην αγορά ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε επικίνδυνο ανταγωνισμό με τις διατροφικές απαιτήσεις της ανθρωπότητας, καθώς και στην αύξηση των τιμών των τροφίμων. Οι δεύτερης και τρίτης γενιάς πρώτες ύλες καθώς και η βελτίωση της βιώσιμης παραγωγής βιοκαυσίμων είναι μερικά από τα πεδία έρευνας ή χειρισμού για την καταπολέμηση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής βιοκαυσίμων.

Η γεωργική διαχείριση καθορίζει πως και ποιες καλλιέργειες πρέπει να καλλιεργηθούν καθώς μπορεί να έχει εκτεταμένες επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους, την ποιότητα του νερού και τη βιοποικιλότητα. Η σημασία της γεωργικής διαχείρισης μπορεί να μεγεθυνθεί καθώς οι αγρότες, ωθούμενοι από τις υψηλές τιμές των ενεργειακών καλλιεργειών, θα επιχειρήσουν να αυξήσουν την παραγωγή βιομάζας, διευρύνοντας το συνολικό ποσό της καλλιεργούμενης γης και επεκτείνοντας την καλλιέργεια σε λιγότερο παραγωγικά εδάφη.

Στα βιοκαύσιμα συμπεριλαμβάνεται και το βιοντίζελ το οποίο αποτελεί μία κύρια εναλλακτική πηγή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, οι ερευνητές έχουν μελετήσει καινοτόμες λύσεις για την παραγωγή πρώτων υλών, καθώς και για τη βιομηχανική παραγωγή βιώσιμου βιοντίζελ. Από γεωπονική άποψη, η μελέτη έχει επικεντρωθεί σε εναλλακτικές πρώτες ύλες και ορθές πρακτικές διαχείρισης ώστε να αυξηθεί η απόδοση σε βιομάζα διατηρώντας υψηλή την ποιότητα του εδάφους ή ακόμη και την διάσωση των εδαφών που δεν είναι κατάλληλα πλέον για τις βρώσιμες καλλιέργειες.

Στο πλαίσιο αυτό για να ισορροπηθούν με ακρίβεια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής βιοκαυσίμων, είναι σημαντικό να εξεταστούν οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται για να αυξηθεί η βιομάζα και οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις τους στην ποιότητα του εδάφους. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων στο έδαφος, δεν θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη μόνο το είδος της μετατρεπόμενης γης, αλλά και την εξέλιξη της ποιότητας της καλλιεργήσιμης γης. Ακόμη, αυτό εξακολουθεί να είναι μια κρίσιμη πτυχή των εργαλείων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, Life Circle Analysis (LCA) για την εκτίμηση των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων στην αλλαγή εκμεταλλευόμενης γης.

Η ανάλυση της βιωσιμότητας παραγωγής πετρελαίου από βιοκαύσιμα θα πρέπει να αξιολογείται με βάση τις διάφορες επιπτώσεις στη χρήση γης εντατικών και εκτατικών καλλιεργειών. Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μη γραμμικότητα στην απόδοση παραγωγής και στις επιπτώσεις που δημιουργούνται. Θα πρέπει να εκφραστεί το σύμπλεγμα ισορροπίας που εγγυάται τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Οι ερευνητές μελετούν τις παραμέτρους της ποιότητας του εδάφους και το πώς αυτές οι παράμετροι θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε ένα μοναδικό δείκτη έτσι ώστε να είναι σε θέση να δώσουν επιπλέον πληροφορίες για την αξιολόγηση της αλλαγής της εκμεταλλευόμενης γης με την LCA μεθοδολογία.



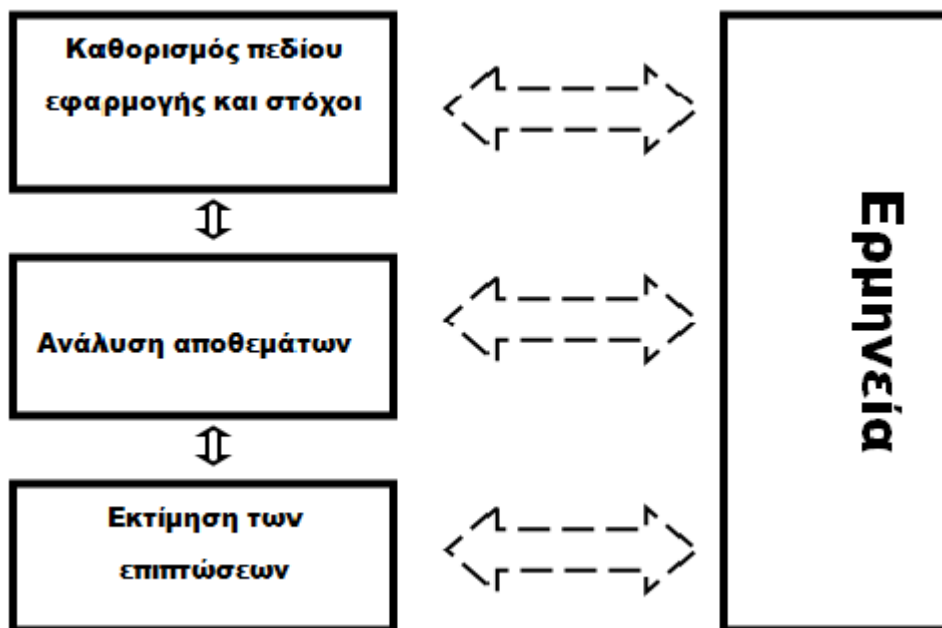
Η ανάπτυξη αυτής της καινοτόμου προσέγγισης έχει ως στόχο να βελτιώσει την αξιολόγηση των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων στην χρήση της γης, επιτρέποντας να ληφθεί υπόψη ο αντίκτυπος των πρακτικών διαχείρισης στην ποιότητα του εδάφους.

Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να γίνουν μελέτες για τις γεωργικές πρακτικές και την επίδρασή τους στην ποιότητα του εδάφους σε σχέση με την καλλιέργεια της βιομάζας σε περιθωριακά εδάφη. Οι μελέτες επικεντρώνονται σε γεωργικές πρακτικές που επηρεάζουν μετρήσιμες παραμέτρους και οι οποίες μπορούν να περιγράψουν τις τάσεις της ποιότητας του εδάφους μετά από τη διαδικασία παραγωγής βιομάζας.

Μια μεθοδολογία η οποία μπορεί να διακρίνει τις επιπτώσεις των διαφορετικών χρήσεων καλλιεργήσιμης γης θα μπορούσε να είναι όχι μόνο η βάση για την ανάπτυξη ενός ισχυρού εργαλείου που θα χρησιμοποιείται από τους αγρότες για να επιλέξουν την κατάλληλη καλλιέργεια και την καλύτερη πρακτική διαχείρισης σε σχέση με τον τύπο του εδάφους, αλλά και ένα εργαλείο για να περιγράψει τη βιωσιμότητα των διαφορετικών διαδικασιών παραγωγής βιοκαυσίμων στην προοπτική των νέων πολιτικών κανονισμών και οικονομικών κινήτρων.

#### **1.10.1. Αξιολόγηση του κύκλου ζωής ( LCA )**

Το ISO: 14040, 97 καθορίζει την Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής (LCA) ως «η συλλογή και η αξιολόγηση των εισροών και εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος παραγωγής προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής». Πρόκειται για μια μεθοδολογία που προώθησαν τα Ηνωμένα Έθνη στο Πρόγραμμα για το Περιβάλλον, οδηγούμενο από την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη στο Γιοχάνεσμπουργκ. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια (Σχήμα 1) που περιλαμβάνει τον ορισμό και το πεδίο εφαρμογής, την ανάλυση των αποθεμάτων, την εκτίμηση των επιπτώσεων και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 1 : Δομή του κύκλου ζωής

Όλα τα αποτελέσματα αξιολογούνται μαζί με ορθολογικό τρόπο και σύμφωνα με τους προσδιορισμένους στόχους της έρευνας ώστε να διαπιστωθούν τα συμπεράσματα και να αποφασιστούν οι συστάσεις που πρέπει να γίνουν.

Η μέθοδος LCA είναι μια δυναμική μέθοδος και τα τέσσερα στάδια της συνδέονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1. Έτσι, τα δεδομένα μπορούν να βελτιωθούν ή να τροποποιηθούν αμέσως μόλις επιτυγχάνονται νέα αποτελέσματα. Οι κοινωνικές πτυχές δεν λαμβάνονται συνήθως υπόψη από την LCA και επομένως είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται άλλες τεχνικές που μας παρέχουν ένα πανόραμα για τα κοινωνικά προβλήματα στο θέμα αυτό (Rajagopal και Zilberman, 2007).

### **1.10.2. Μέθοδοι επισκόπησης σχετικά με τις επιπτώσεις στην χρήση της γης για την παραγωγή βιοκαυσίμων.**

Τα βιοκαύσιμα θεωρούνται συχνά η καλύτερη λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνδέονται με την αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η εξάντληση των πρώτων υλών, αν και επί του παρόντος δεν υπάρχει ακόμη μια μοναδική και προτεινόμενη μεθοδολογία για να αξιολογηθεί η περιβαλλοντική τους βιωσιμότητα.

Ένα παράδειγμα μιας απλής μεθόδου για την αξιολόγηση μιας διεργασίας, ως επί το πλείστον από οικονομική άποψη, είναι να υπολογιστεί το Ισοζύγιο Καθαρής

Ενέργειας, Net Energy Balance (NEB) που μετρά τη διαφορά μεταξύ του ποσού της ενέργειας που διατίθεται μετά τη διαδικασία δημιουργίας του βιοκαυσίμου και τη συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του βιοκαυσίμου. Αυτή η μέθοδος παρέχει γρήγορα και απλά αποτελέσματα και μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία, αλλά δεν μπορεί να δώσει διεξοδική περιγραφή. Επίσης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των μεταβολών σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα (Bureau et al., 2010).

Για να έχουμε πιο ολοκληρωμένα και ακριβή αποτελέσματα η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA).

Χάρη στην τυποποιημένη μεθοδολογία (ISO14040 και ISO14044) και την αύξηση της ποιότητας και του αριθμού των διαθέσιμων δεδομένων, η LCA έχει πρόσφατα αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία ως μία από τις πιο πλήρεις και αξιόπιστες μεθοδολογίες για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων.

Η μελέτη καθορίζει τον στόχο και το πεδίο εφαρμογής, τα όρια του συστήματος της και τη λειτουργική μονάδα Functional Unit (FU). Επιτρέπει την αναφορά όλων των εισόδων από τις πρώτες ύλες έως και την ενέργεια, και των εξόδων, όπως για παράδειγμα, τις εκπομπές και τα απόβλητα που σχετίζονται με την διαδικασία.

Επιπλέον η LCA, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής, τη λεγόμενη «απαρχή μέχρι τέλους» προσέγγιση, αποφεύγει τα προβλήματα που σχετίζονται με τη μετατόπιση των επιπτώσεων από ένα στάδιο στο άλλο.

Όλο και πιο αξιόπιστες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί και προσφέρουν μεγάλη και διαφοροποιημένη γκάμα δεικτών που προκαλούν πλήρως την αναζήτηση των επιπτώσεων τόσο στο περιβάλλον όσο και στις οικολογικές και ανθρώπινες δραστηριότητες κάνοντας το LCA ένα καλό εργαλείο για τους φορείς λήψης αποφάσεων αφού συγκρίνει διάφορες λύσεις. Έχουν επίσης αναπτυχθεί δείκτες για τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις με σκοπό να δώσουν ένα αποτέλεσμα που ανταποκρίνεται στους τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας. Κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Η LCA όλο και πιο συχνά χρησιμοποιείται για να αναλύσει την παραγωγή και τη χρήση βιοκαυσίμων δίνοντας ενδείξεις, αναγνωρίζοντας δυνατά και αδύνατα σημεία, επιτρέποντας έτσι τη συνεχή βελτίωση του συστήματος. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες προκλήσεις στην εφαρμογή της LCA στα βιοκαύσιμα και επισημάνθηκαν στην πρόσφατη εργασία του (McKone et al., 2011). Καταρχάς υπάρχουν αβεβαιότητες που σχετίζονται για παράδειγμα με τον μεγάλο αριθμό και

τον τύπο των εισροών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Αυτή η μεταβλητότητα δεν συνδέεται μόνο με την επιλεγμένη καλλιέργεια, αλλά και το χώρο, τις γεωργικές πρακτικές, την απόδοση, χωρίς να ξεχνάμε και τον καιρό.

Η τυποποίηση ενός τόσο πολύπλοκου συστήματος απαιτεί ένα τεράστιο ποσό δεδομένων και οι παράμετροι μπορεί να ποικίλλουν εποχιακά. Ένα άλλο πρόβλημα σχετίζεται με τη σύνθεση των βιοκαυσίμων που μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές καλλιέργειες, τις επεξεργασίες που εφαρμόζονται, την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων (νέες τεχνολογίες και πρακτικές για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ακόμη υπό αναθεώρηση και η πιθανή βελτίωση στην τελική απόδοση δεν είναι ακόμη προβλέψιμη), έτσι ώστε πολλές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία να μην είναι ακόμα καθορισμένες. Τέλος, αλλά εξίσου σημαντικό, το πρόβλημα που συνδέεται αυστηρά με την γεωργική φάση. Η χρήση της γης για καλλιέργεια βιοκαυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της χρήσης του εδάφους, για παράδειγμα, από δάσος σε καλλιέργεια ή της χρήσης της συγκομιδής από τρόφιμο σε πρώτη ύλη για βιοκαύσιμα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν εκπομπές στον αέρα και στο νερό, την εξάντληση του εδάφους ή την αύξηση των γεωργικών εκτάσεων για να αντιμετωπιστεί η αυξανόμενη ζήτηση βιομάζας.

Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις στην LCA , που παρέχουν προτάσεις για τους δείκτες, οι οποίες είναι κατάλληλες για τη μοντελοποίηση των επιπτώσεων της χρήσης γης, αλλά λίγες από αυτές παρέχουν λεπτομερείς οδηγίες για τον τρόπο υπολογισμού των ποσοτικών δεικτών. Οι πιο ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις μπορούν να χωριστούν σε ποσοτικοποίηση της χρήσης γης χρησιμοποιώντας τη βιοποικιλότητα, και σε ποσοτικοποίηση της χρήσης γης χρησιμοποιώντας τη λειτουργία του εδάφους. Ακόμη και αν έχουν προταθεί ορισμένες ελπιδοφόρες μελέτες σχετικά με τη βιοποικιλότητα στο πλαίσιο της χρήσης γης (Bentrup et al., 2002) (Bare, 2010) η προσέγγιση της χρήσης γης χρησιμοποιώντας τη λειτουργία του εδάφους είναι πιο εφαρμόσιμη στην πράξη. Ωστόσο, η βιοποικιλότητα είναι ένα σημαντικό θέμα και θα πρέπει να είναι μέρος της εκτίμησης των επιπτώσεων της χρήσης της γης.

Οι πρώτες μεθοδολογίες για την Εκτίμηση των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής αξιολογούν τη χρήση της γης με την καταγραφή του ποσού της γης που χρησιμοποιείται (ha ή ha/έτη) ως ένδειξη των επιπτώσεων (Milà i Canals, 2007)

Είναι κοινή πρακτική στην LCA αγρονομικών συστημάτων να αξιολογεί τη χρήση της γης ως  $m^2/έτος$ , πράγμα που σημαίνει ότι όσο μικρότερη η χρήση γης τόσο μικρότερες οι συνέπειες. Η προσέγγιση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη αρκετές πτυχές της ποιότητας του εδάφους και δεν επιτρέπει τη διαφοροποίηση διαφορετικών επιπτώσεων που οφείλονται στην ίδια την εργασία, αλλά με διαφορετικές εντάσεις (π.χ. εκτεταμένη ή εντατική καλλιέργεια).

Ωστόσο, σήμερα αναγνωρίζεται ότι οι αλλαγές στην ποιότητα της γης θα πρέπει επίσης να αξιολογηθούν από την LCA.

Η χρήση της γης και σχετικοί παράγοντες, όπως οι υπηρεσίες των οικοσυστημάτων και η βιοποικιλότητα είναι πιθανό να μην αναγνωριστούν ή να μη γίνουν αντιληπτές από μια πρόχειρη μέτρηση επιφάνειας γης. Ακόμα και όταν εξετάζονται τα μέτρα αυτά συνήθως η αναφορά τους δεν παρέχει καμία πρακτική βοήθεια στις προσπάθειες για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και τίποτα που να ενημερώνει για τις σωστές επιλογές και τις αποφάσεις για την ανάπτυξη του προϊόντος ή της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό αφήνει ένα μεγάλο κενό στην όλη εικόνα από την προσέγγιση κύκλου ζωής. Ωστόσο, εξακολουθεί η κοινή πρακτική να μην περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της χρήσης της γης σε μελέτες LCA και μια συμφωνημένη, συνεκτική και συνεπής μέθοδος να μην έχει ακόμα καθοριστεί.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί κάποιες ενδιαφέρουσες LCA προσεγγίσεις.

Baitz (2002): Με βάση τη μέθοδο που προτείνει ο Baitz και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τους Bos και Wittstock περιγράφονται οι επιπτώσεις που σχετίζουν τη μετατροπή χρήσης γης, με την καταγραφή επτά δεικτών:

- σταθεροποίηση της διάβρωσης
- φιλτράρισμα του νερού
- διαθεσιμότητα των υπόγειων υδάτων και προστασία τους
- καθαρή πρωτογενή παραγωγή
- υδατική διαπερατότητα και ικανότητα απορρόφησης
- απορρόφηση και φιλτράρισμα των εκπομπών
- σταθερότητα των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας.

Όλοι οι δείκτες υπολογίζονται ως στοιχειώδεις ροές μέχρι και σήμερα. Οι διάφοροι δείκτες δεν μπορούν να συνδυαστούν.

Milà i Canals (2007): Η μέθοδος αυτή θεωρεί την οργανική ύλη του εδάφους (Soil Organic Matter ή SOM) ως δείκτη ποιότητας του εδάφους. Η SOM έχει

χαρακτηριστεί ως ο θεμέλιος δείκτης ποιότητας του εδάφους, ειδικά για την αξιολόγηση του αντίκτυπου στην ευφορία της χρήσης της γης. Επηρεάζει ιδιότητες, όπως την ρυθμιστική ικανότητα, τη δομή του εδάφους και την γονιμότητα. Η αξιολόγηση της αλλαγής ενός δείκτη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις αλλαγές σε άλλους δείκτες.

Οι χρήστες του LCA αναμένεται να γνωρίζουν την τοποθεσία, το χρονοδιάγραμμα και τις τιμές της SOM πριν και μετά την χρήση της γης, το ποσοστό χαλάρωσης και τις σχετιζόμενες τιμές της SOM. Βασισμένοι σε αυτά, οι χρήστες του LCA αναμένεται να υπολογίσουν το συντελεστή χαρακτηρισμού του συστήματος.

Η επιλογή της μεθόδου που ανέπτυξαν οι Milà και Canals (2007) βασίζεται σε γενικά επιστημονικά κριτήρια και την αποδοχή των ενδιαφερομένων.

Τα επιστημονικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται από τους Milà και Canals (2007) είναι: η πληρότητα του σκοπού που έχει τεθεί, η περιβαλλοντική σημασία, η επιστημονική ευρωστία και βεβαιότητα, η διαφάνεια, η επαναληψιμότητα και η εφαρμοσιμότητα. Ο βαθμός αποδοχής των ενδιαφερόμενων για τη μέθοδο, καθώς και το πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επικοινωνία μεταξύ επιχειρήσεων και πολιτικών φορέων, επίσης αξιολογήθηκαν. Κάθε κριτήριο έχει οριστεί μέσα από μια σειρά επιμέρους κριτηρίων.

Σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια η μέθοδος Milà και Canals (2007) έχει το καλύτερο αποτέλεσμα, αλλά είναι στο επίπεδο III που σημαίνει ότι η μέθοδος συνιστάται, αλλά θα πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή (επίπεδο I: συνιστάται και είναι ικανοποιητική. Επίπεδο II: συνιστάται, αλλά χρειάζεται κάποια βελτίωση).

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Milà και Canals (2007) λαμβάνει υπόψη την κατάληψη και τη διαδικασία μετασχηματισμού της γης ως συνάρτηση της έκτασης που χρησιμοποιείται, το χρόνο (διάρκεια της κατοχής και μετασχηματισμού της διαδικασίας) και την ποιότητα της γης, πριν, κατά και μετά τη χρήση της γης. Η κατάληψη αναφέρεται στην χρήση της γης για έναν συγκεκριμένο σκοπό υποθέτοντας ότι δεν θα υπάρξουν αλλαγές στις ιδιότητες της γης κατά τη διάρκεια της χρήσης. Σε αντίθεση, η διαδικασία μετασχηματισμού προϋποθέτει την αλλαγή της ποιότητας μιας έκτασης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της νέας χρήσης. Ο SOM είναι ο δείκτης για τον ορισμό της ποιότητας της γης, αλλά αυτή η μεθοδολογία είναι εύκολα τροποποιήσιμη στο να εκφράζει τις επιπτώσεις της κατάληψης γης και την μετατροπή της με διαφορετικούς δείκτες ποιότητας.

Στις μελέτες LCA θα πρέπει να παρέχονται διάφορες εκτιμήσεις που αφορούν τον μετασχηματισμό του εδάφους και την διαφοροποίηση μεταξύ χαρακτηριστικών. Αν η LCA έχει ως στόχο να περιγράψει τις επιπτώσεις στο σύστημα(χαρακτηριστική προσέγγιση), η μελέτη θα πρέπει να επικεντρωθεί στον καθορισμό όλων των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη δραστηριότητα σε σχέση με μια κατάσταση όπου η δραστηριότητα αυτή δεν έχει πραγματοποιηθεί. Εάν η μελέτη αποσκοπεί στο να αξιολογήσει τις συνέπειες στην αλλαγή χρήσης γης, μόνο οι αλλαγές στη χρήση γης του συγκεκριμένου συστήματος χρησιμοποιούνται σε αντιπαράθεση με ένα άλλο εναλλακτικό σύστημα. Ως εκ τούτου, στο εναλλακτικό σύστημα πρέπει να γίνεται κατάσταση αναφοράς, η οποία θα πρέπει να προέρχεται από στατιστικές χρονοσειρές για τη χρήση της γης.

Η μέθοδος των Milà και Canals είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της χρήσης της γης. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η ποιότητα της μέτρησης της γης με διαφορετικούς δείκτες.

Η μεταβολή της ποιότητας της γης καθορίζεται από την αλλαγή στα ποσοτικά χαρακτηριστικά της. Ως κατοχή ορίζεται η εγκατάσταση στην γη κατά τη διάρκεια της χρήσης της, ενώ ως μετασχηματισμός η αμετάκλητη μεταβολή της γης από την χρήση της. Για τον υπολογισμό της ποιότητας της γης ο Baitz (2002) χρησιμοποιεί ορισμένες παραμέτρους:

A) Αντοχή στη διάβρωση: τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται είναι η υφή του εδάφους, η κλίση, οι θερινές βροχοπτώσεις, το είδος της χρήσης γης και το είδος της επιφάνειας.

B) Μηχανική διήθηση: τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται είναι η υφή του εδάφους και η απόσταση της επιφάνειας από τα υπόγεια ύδατα.

Γ) Φυσικοχημική διήθηση: για τον υπολογισμό της χρειάζονται η πραγματική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και το είδος της χρήσης της γης.

Δ) Αναπλήρωση υπόγειων υδάτων: τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται είναι η υφή του εδάφους, το είδος της χρήσης γης, η καθίζηση, η εξατμισοδιαπνοή, η απόσταση της επιφάνειας από τα υπόγεια ύδατα και απόκλιση

E) Βιοτική παραγωγή: εξαρτάται από την κλίση, την κακή υφή, το περιεχόμενο σε μικροοργανισμούς, την παροχή θρεπτικών συστατικών, την παροχή νερού, τη μέση ετήσια θερμοκρασία και την ευαισθησία στη διάβρωση.

## 1.11. Βιώσιμο προφίλ των βιοκαυσίμων

Η γενική ανησυχία για τη ρύπανση και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατανάλωσης ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτές πηγές έχει οδηγήσει σε όλο και περισσότερες μελέτες για τη βιωσιμότητα του προφίλ των διαθέσιμων πηγών ενέργειας, παραδοσιακών και εναλλακτικών.

Μεταξύ των εναλλακτικών πηγών, τα βιοκαύσιμα είναι αυτά των οποίων η ενέργεια προέρχεται από βιολογική δέσμευση του άνθρακα, όπως η στερεή βιομάζα, τα υγρά βιοκαύσιμα και διάφορα βιοαέρια. Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και τα ορυκτά καύσιμα (λόγω της καταγωγής τους, στην αρχαία δέσμευση του άνθρακα), αλλά δεν θεωρούνται βιοκαύσιμα, επειδή ο άνθρακας που περιέχουν ήταν «έξω» από τον κύκλο του άνθρακα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ακόμη και αν η ζήτηση για τα βιοκαύσιμα συνεχίζει να αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς, τα βιοκαύσιμα έχουν λάβει σημαντικές επικρίσεις ως αποτέλεσμα:

- Της αύξησης των τιμών των τροφίμων.
- Του σχετικά μικρού ποσοστού μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, ή ακόμη και της αύξησης σε ορισμένες περιπτώσεις
- Της συνεχιζόμενης ανάγκης για σημαντικές κυβερνητικές ενισχύσεις και επιδοτήσεις για να διασφαλιστεί ότι τα βιοκαύσιμα είναι οικονομικά βιώσιμα
- Των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων από τις αλλαγές στην καλλιέργεια γης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.



## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

### 2.1. Θέση του Πειραματικού Αγρού

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στα βόρειο-δυτικά της πόλης του Βόλου. Η εγκατάσταση του πειραματικού αγρού είχε πραγματοποιηθεί το 2015.

Σύμφωνα με εδαφολογικές αναλύσεις, το χώμα στο Βελεστίνο είναι ασβεστούχο με pH= 8,1-8,3, αργιλοπηλώδες έως πηλώδες με σύσταση: άμμος 19-21%, πηλός 39-41% και άργιλος 38-42% και πλούσιο σε οργανική ουσία.

Οι μετρήσεις της παρούσας έρευνας, αφορούν τις δειγματοληψίες βιομάζας ηλίανθου που πραγματοποιήθηκαν το 2015. Στον Πίνακα 2.1. φαίνονται οι εδαφολογικές μετρήσεις που έγιναν στον πειραματικό αγρό πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

**Πίνακας 2.1 :** Χημικές ιδιότητες του υπό μελέτη εδάφους στον πειραματικό αγρό πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας το έτος 2015.

Ιδιότητα	Βάθος	
	0 – 10 cm	10- 40 cm
Ολικό N (%)	1,68	1,04
Οργανική ουσία (%)	2,7	2,3
Διαθέσιμος P (mg/kg)	8	4
Διαθέσιμο K (mg/kg)	254	178

### 2.2. Εργασίες Αγρού

Όργανο με βαθύ άροτρο ήταν η πρώτη εργασία που πραγματοποιήθηκε στον αγρό. Έπειτα έγινε καταπολέμηση ζιζανίων με πέραςμα καλλιεργητή και για το ψιλοχωμάτισμα του εδάφους χρησιμοποιήθηκε ξανά καλλιεργητής. Πριν την σπορά πραγματοποιήθηκε λίπανση 5 μονάδων N, P και K στις μεταχειρίσεις N1 και N2 και 5 μονάδων P και K στις μεταχειρίσεις N0. Η σπορά του ηλίανθου έγινε με πνευματική σπαρτική μηχανή. Το βάθος σποράς ήταν 5 cm και οι αποστάσεις σποράς ήταν 75 cm μεταξύ των γραμμών και 20 cm πάνω στην γραμμή. Χρειάστηκαν

περίπου 350 gr/στρέμμα σπόρου. Όσον αφορά την άρδευση επιλέχθηκε η μέθοδος της στάγδην άρδευσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το σύστημα άρδευσης κάλυπτε τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό. Η σπορά έγινε 9/7/2015 και το φύτευμα (+50% των φυτών) έγινε στις 16 Ιουλίου (Ιουλιανή ημέρα του έτους 198). Η ζιζανιοκτονία πραγματοποιήθηκε μεταφυτρωτικά στο στάδιο των 3-4 φύλλων με μεταφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο για την καταπολέμηση πλατύφυλλων ζιζανίων. Η ζιζανιοκτονία πραγματοποιήθηκε με εκλεκτικό μεταφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο εμπορικής ονομασίας Granstar 50 SG με δραστική ουσία tribenuron-methyl 50 % β/β Καθαρότητας 95 %. Η χορηγούμενη δόση του σκευάσματος ήταν 3,7 gr σκευάσματος/στρέμμα σε συνδυασμό με λάδι διαβροχής και χορηγούμενη δόση περίπου 125 ml/στρέμμα. Αγροστώδη ζιζάνια δεν παρατηρήθηκαν στον αγρό ενώ το πλατύφυλλο που παρατηρήθηκε σε αυξημένο αριθμό ήταν το *Xanthium strumarium*.

### 2.3 Πειραματικό σχέδιο

Το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος ήταν των Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (split - plot design) 3x3 με 3 επαναλήψεις. Στα κύρια τεμάχια εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα άρδευσης και στα υποτεμάχια εφαρμόστηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης μαζί με το μηδενικό.

Στο πειραματικό σχέδιο εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα άρδευσης.

Πιο συγκεκριμένα:

-Επίπεδο I<sub>1</sub> : 100%

-Επίπεδο I<sub>2</sub> : 50%

-Επίπεδο I<sub>3</sub> : 25% της μέγιστης Εξατμισοδιαπνοής

Ακόμη, εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N) στα εξής επίπεδα:

-N<sub>0</sub> : 0 kg/στρ.

-N<sub>1</sub> : 5 kg/στρ.

-N<sub>2</sub> : 10 kg/στρ.

$I_2N_2$		$I_3N_2$		$I_1N_2$	<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ III</b>
$I_2N_1$		$I_3N_0$		$I_1N_1$	
$I_2N_0$		$I_3N_1$		$I_1N_0$	
$I_2N_1$		$I_1N_1$		$I_3N_0$	<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ II</b>
$I_2N_0$		$I_1N_0$		$I_3N_1$	
$I_2N_2$		$I_1N_2$		$I_3N_2$	
$I_1N_0$		$I_2N_2$		$I_3N_1$	<b>ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ I</b>
$I_1N_2$		$I_2N_0$		$I_3N_2$	
$I_1N_1$		$I_2N_1$		$I_3N_0$	

**Σχήμα 2.1.** Πειραματικό σχέδιο της καλλιέργειας *Helianthus annuus* L. στην περιοχή του Βελεστίνου το 2015. Όπου λευκό φόντο επίπεδο άρδευσης  $I_3$ , όπου γαλάζιο επίπεδο άρδευσης  $I_2$  και όπου μπλε σκούρο επίπεδο άρδευσης  $I_1$ . Με  $N_0, N_1, N_2$  σημειώνονται τα επίπεδα λίπανσης.

## 2.4. Μέθοδος Δειγματοληψίας

Σε κάθε κοπή επιλέγονταν τυχαία όσα φυτά βρίσκονταν κατά μήκος ενός μέτρου πάνω στη γραμμή και σε δυο διπλανές γραμμές, δηλαδή φυτά που καταλάμβαναν  $1.5 \text{ m}^2$ , από το κάθε πειραματικό τεμάχιο. Η επιλογή των φυτών γινόταν όσο το δυνατόν κοντύτερα στο κέντρο του τεμαχίου. Κάθε δείγμα ζυγίζονταν στον αγρό και σημειώνονταν το συνολικό βάρος του δείγματος ενώ ένα μικρότερο δείγμα με πλαστικές σακούλες μεταφέρονταν στο εργαστήριο για διαχωρισμό στα επιμέρους φυτικά όργανα, ζύγισή τους και ξήρανσή τους.

## 2.5. Δειγματοληψίες

Οι μετρήσεις διήρκησαν χρονικά από 5/08/2015 μέχρι 13/10/2015 στις παρακάτω ημερομηνίες:

Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 5/08/15.

Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 21/08/15.

Η τρίτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 2/09/15.

Η τέταρτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 22/09/15.

Η πέμπτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 13/10/2015.

Οι δύο πρώτες μετρήσεις ήταν ενδεικτικές. Στην πρώτη ελήφθησαν ενδεικτικά φυτά μόνο από 9 πειραματικά τεμάχια (πλοτς) μιας και ήταν κοντά στο φύτευμα και δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ στη δεύτερη φυτά μόνο από κάθε άρδευση μιας και η λίπανση σε τόσο μικρό στάδιο εκτιμήθηκε ότι δεν θα δημιουργούσε διαφορές. Στις μετέπειτα δειγματοληψίες λήφθησαν φυτά από όλα τα πειραματικά τεμάχια.

## 2.6. Εργαστηριακές μετρήσεις

Αφού ζυγίστηκαν τα δείγματα και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, από κάθε δείγμα λήφθηκε ένα υποδείγμα ώστε να ζυγιστεί εκ νέου (τρία - τέσσερα ενδεικτικά φυτά). Τα υποδείγματα διαχωρίστηκαν σε φύλλα, βλαστούς, μίσχους και καρποφόρα όργανα για τις απαραίτητες μετρήσεις. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την φυλλική επιφάνεια κάθε δείγματος. Έτσι υπολογίστηκε και ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (Δ.Φ.Ε.) ή Leaf Area Index (LAI). Μετά τις μετρήσεις τα υποδείγματα τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες ώστε να μπουν σε ξηραντήριο για την αφαίρεση της υγρασίας. Επιπλέον στο στάδιο ωρίμανσης της κεφαλής αφαιρέθηκε ο σπόρος και έγιναν οι κατάλληλες μετρήσεις τόσο για τον σπόρο όσο για την κεφαλή όσον αφορά την ξηρή τους βιομάζα.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. Στάδια ανάπτυξης

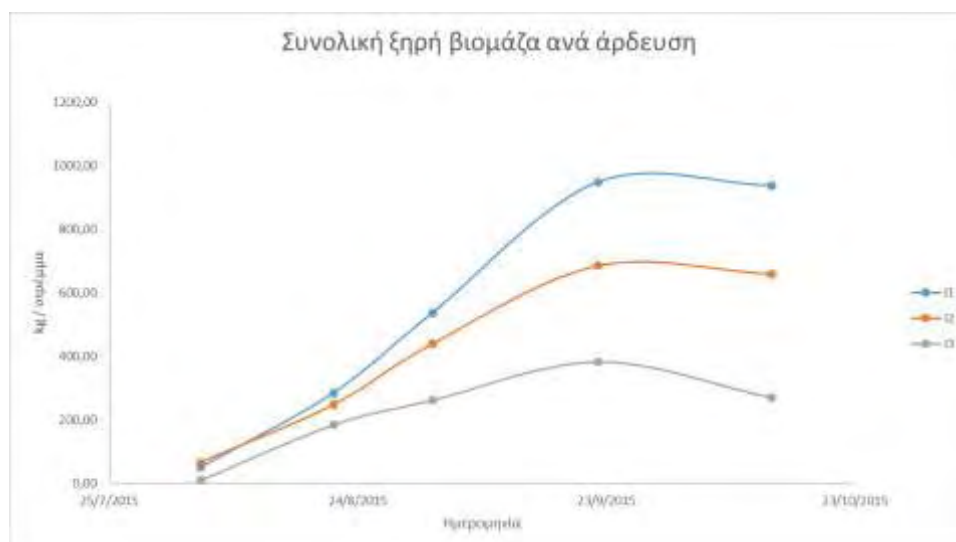
Τα σημαντικότερα στάδια στην ανάπτυξη μιας καλλιέργειας αποτελούν το φύτευμα, η άνθιση και η ωρίμανση του καρπού. Ο σπόρος σπάρθηκε στις 9/7/2015 και το φύτευμα παρατηρήθηκε 7 ημέρες μετά, στις 16 του μήνα και ήταν ομοιόμορφο. Η άνθιση έλαβε μέρος στις 27/8/2015 και η ωρίμανση στις 13/10/2015 αν και τα φυτά λόγω του καιρού είχαν αρκετή υγρασία και δεν ήταν κατάλληλα για συγκομιδή. Οι κεφαλές είχαν αποκτήσει χρώμα καφέ δείγμα ότι ο σπόρος δεν θα συνέχιζε να τροφοδοτείται.

#### 3.2. Αποδόσεις σε βιομάζα

Οι ημερομηνίες κατά τις οποίες έγιναν δειγματοληψίες ήταν οι 5/8, 21/8, 2/9, 22/9 και 13/10. Σε κάθε δειγματοληψία μετρήθηκε το χλωρό και ξερό βάρος του δείγματος των φυτών κάθε μεταχείρισης, καθώς και το βάρος των επιμέρους οργάνων τους, φύλλα, βλαστοί, καρποφόρα όργανα. Το βάρος των φύλλων είναι χωρίς τους μίσχους.

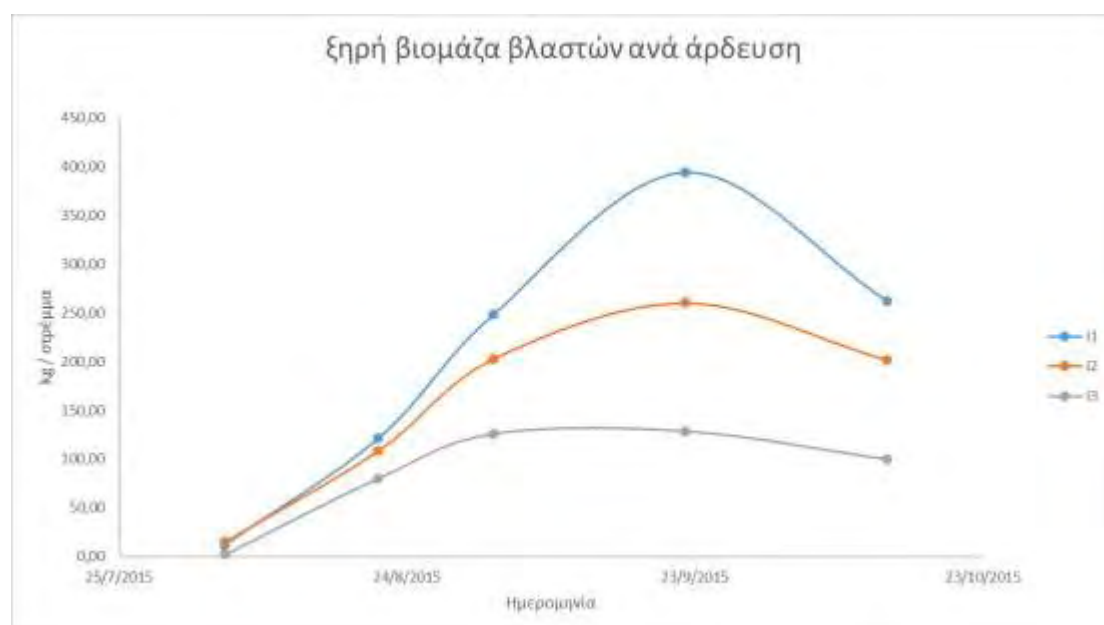
##### 3.2.1 Αποδόσεις σε βιομάζα ανά άρδευση

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα ανά άρδευση.



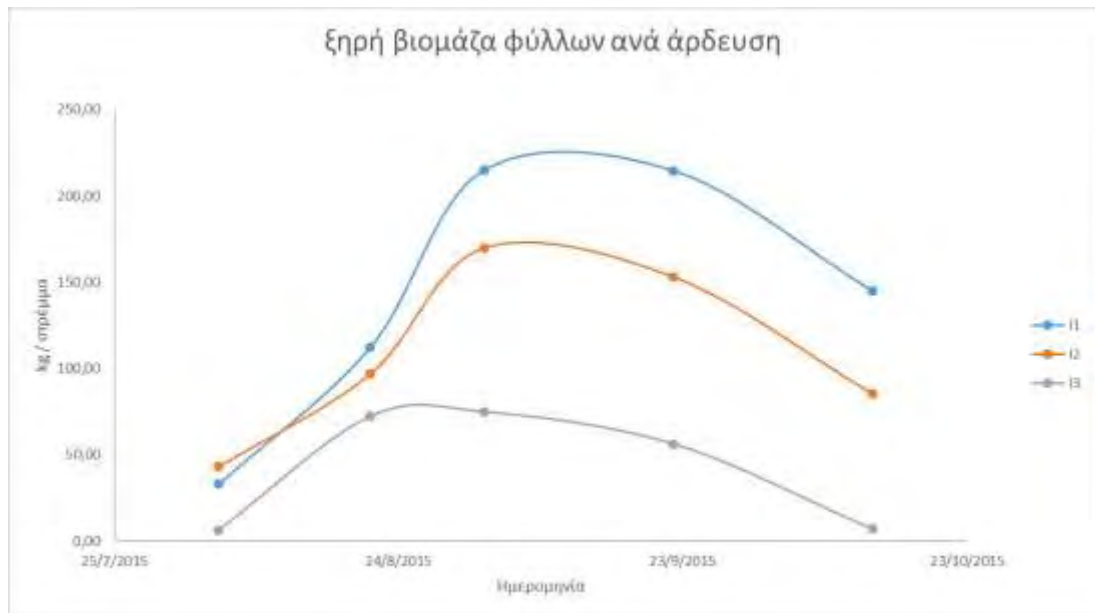
Σχεδιάγραμμα 1.

**Συνολική ξηρή βιομάζα, (σχ. 1):** Από τη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία η άρδευση I3 άρχισε να ξεχωρίζει έχοντας μικρότερη απόδοση σε σύγκριση με τις I1 και I2 ενώ από τις 2/9 και μετά κάθε άρδευση είχε στατιστικώς σημαντική επίδραση στην συνολική βιομάζα. Στο τέλος του πειράματος η μέση απόδοση της I1 ήταν περίπου 900 kg/στρέμμα της I2 650 και της I1 270. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη βιομάζα ανά άρδευση δε βρίσκεται στην τελευταία δειγματοληψία αλλά στην προτελευταία. Στο παράρτημα παραθέτονται οι πίνακες της στατιστικής ανάλυσης για κάθε σχεδιάγραμμα.



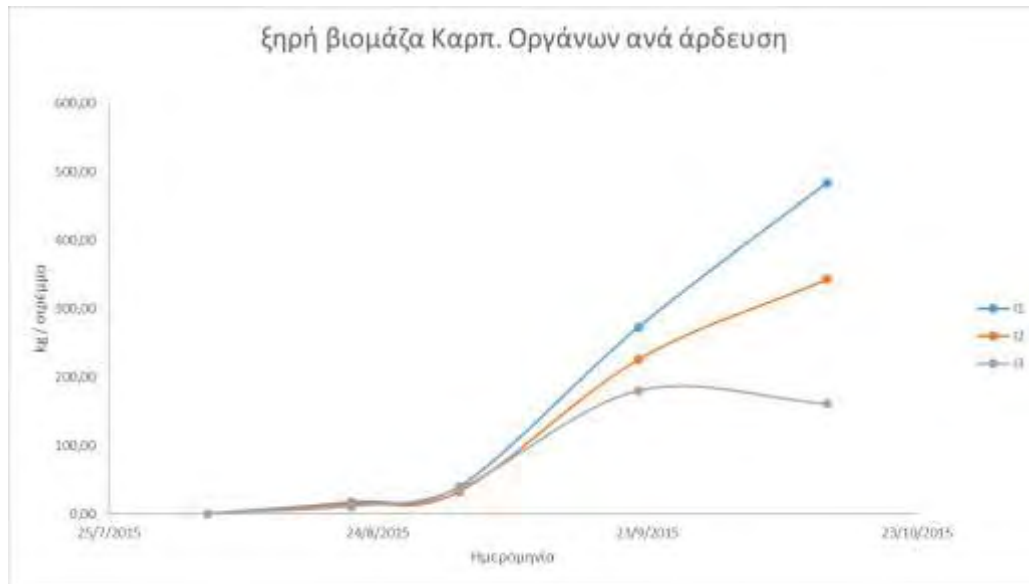
Σχεδιάγραμμα 2.

**Ξηρή βιομάζα βλαστών, (σχ. 2):** Ομοίως με τη συνολική ξηρή βιομάζα, από τη 2<sup>η</sup> δειγματοληψία η άρδευση I3 άρχισε να ξεχωρίζει έχοντας μικρότερη απόδοση σε σύγκριση με τις I1 και I2 ενώ από τις 22/9 και μετά κάθε άρδευση είχε στατιστικώς σημαντική επίδραση στην βιομάζα των βλαστών. Στο τέλος του πειράματος η μέση απόδοση των βλαστών της I1 ήταν περίπου 260 kg/στρέμμα, της I2 200 και της I3 100. Ομοίως με τη συνολική ξηρή βιομάζα το μέγιστο παρουσιάζεται στην προηγούμενη δειγματοληψία και η μείωση στη I1 φθάνει σε ποσοστό το 34%.



Σχεδιάγραμμα 3.

**Ξηρή βιομάζα φύλλων, (σχ. 3):** Στα φύλλα ακολουθείται το ίδιο πρότυπο στην επίδραση της άρδευσης και οι διαφορές είναι εμφανείς από την αρχή της καλλιεργητικής περιόδου με την φυλλική βιομάζα της I3 να υστερεί σημαντικά έναντι των I1 και I2. Από τις 2/9 αρχίζουν να διαχωρίζονται και οι I1 με τη I2, να φθάνουν ένα μέγιστο της τάξης των 210 και 170 kg/στρέμμα αντίστοιχα και να μειώνονται περίπου στο μισό κατά την τελευταία δειγματοληψία. Στην τελευταία δειγματοληψία η μάζα των φύλλων της I3 είναι πρακτικά μηδενιστεί. Επισημαίνεται ότι όταν αναφέρεται η βιομάζα φύλλων, αναφέρεται στα πράσινα φύλλα που παρέμειναν στο φυτό.



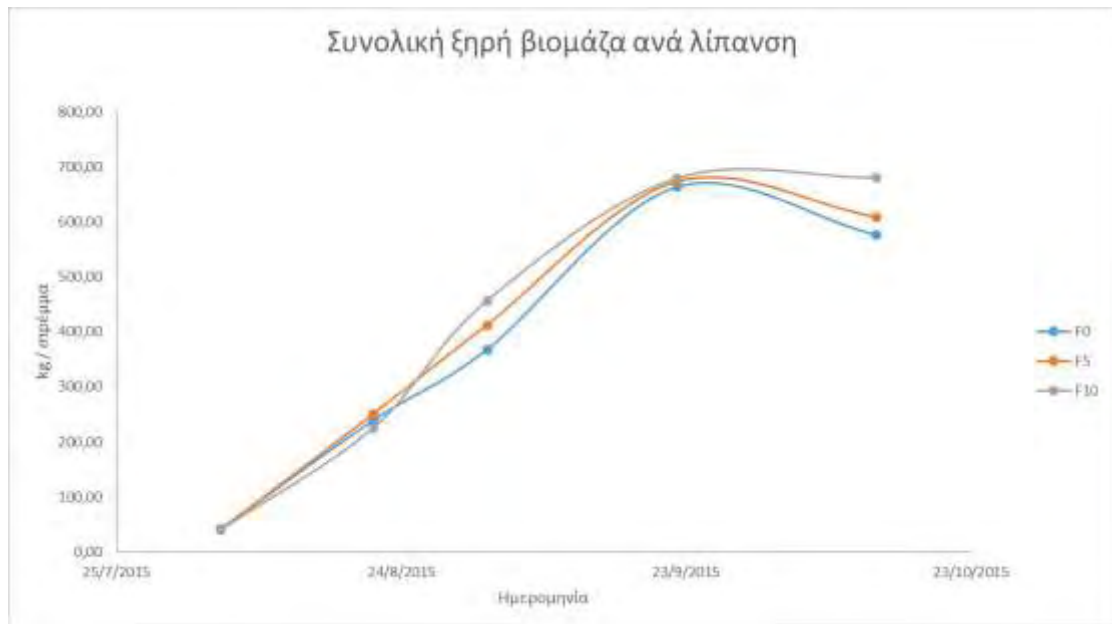
Σχεδιάγραμμα 4.

**Ξηρή βιομάζα καρποφόρων οργάνων, (σχ. 4):** Στην περίπτωση των καρποφόρων οργάνων η τάση της βιομάζας παρουσιάζει διαφοροποίηση σε σχέση με τη βιομάζα των φύλλων, των βλαστών και τη συνολική. Παρατηρούμε ότι η βιομάζα των καρποφόρων οργάνων συνεχώς και αυξάνεται με εξαίρεση στην I3 όπου φθάνει σε ένα μέγιστο και μετά σταθεροποιείται. Από τις 22/9 και οι τρεις αρδεύσεις έδωσαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

### 3.2.2 Αποδόσεις σε βιομάζα ανά λίπανση

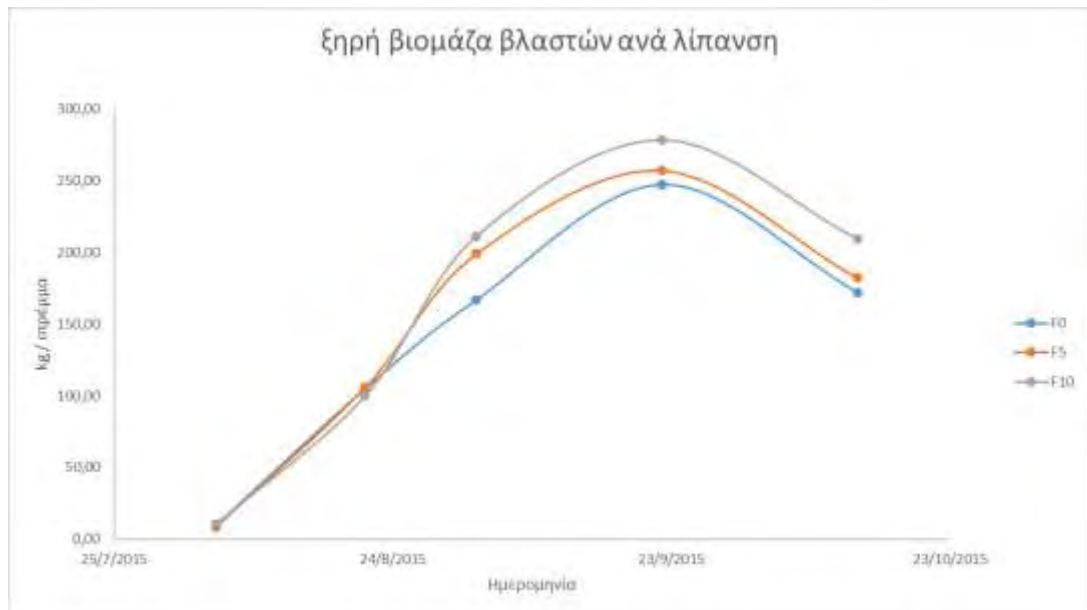
Κατ' αντιστοιχία της προηγούμενης παραγράφου, σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα των οργάνων αλλά και συνολικά, ανά λίπανση.





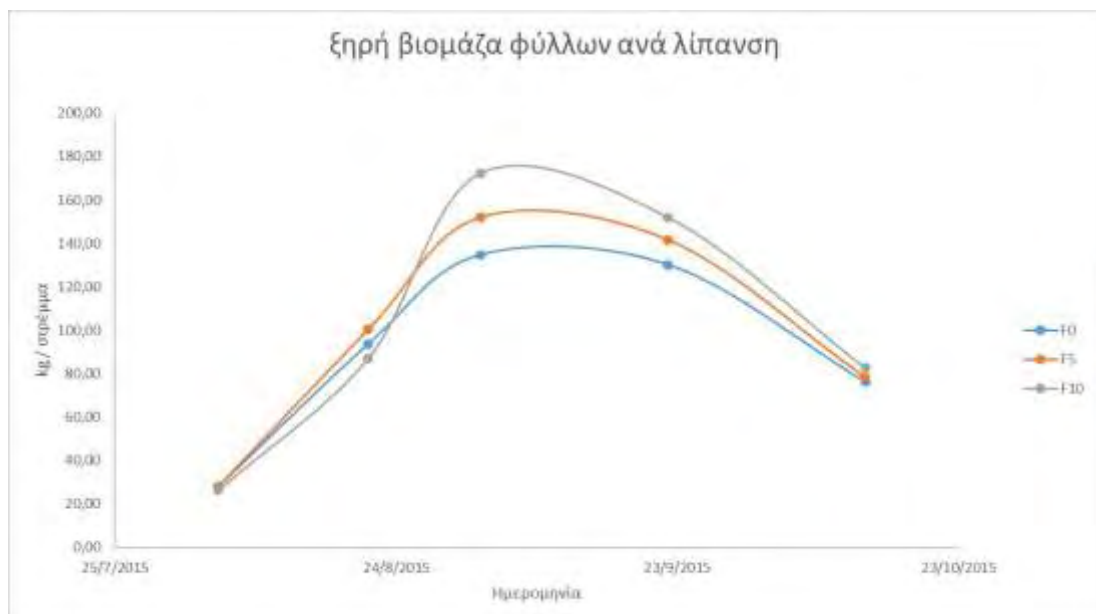
Σχεδιάγραμμα 5.

**Συνολική ξηρή βιομάζα, (σχ. 5):** Απ' ό,τι παρατηρούμε στο σχεδιάγραμμα 5 καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος η αζωτούχος λίπανση δεν επηρέασε την ανάπτυξη του ηλίανθου παρά μόνο στην τελική κοπή παρατηρήθηκε μια μικρή διαφοροποίηση της F10 μεταχείρισης σε σύγκριση με τις άλλες δυο μεταχειρήσεις. Η F10 έφτασε σε ένα μέγιστο της τάξης των 680 kg/στρέμμα το οποίο είχε μικρές διακυμάνσεις στις 2 τελευταίες δειγματοληψίες ενώ οι F0 και F5 το 580 και 610 kg/στρέμμα αντίστοιχα παρουσιάζοντας μείωση της τάξης του 13 και 10% αντίστοιχα.



Σχεδιάγραμμα 6.

**Ξηρή βιομάζα βλαστών, (σχ. 6):** Ομοίως με τη ξηρή βιομάζα βλαστών ανά άρδευση, η αύξηση και μεταβολή της βιομάζας των βλαστών ανά λίπανση είναι ίδια και για τις 3 μεταχειρίσεις λίπανσης. Αυξάνεται μέχρι ενός ποσού και εν συνεχεία μειώνεται. Η λίπανση στους βλαστούς δεν επέφερε στατιστικώς σημαντική διαφορά σε καμία από τις δειγματοληψίες. Η μείωση της βιομάζας μεταξύ των δυο τελευταίων δειγματοληψιών είναι μεταξύ 25-30%.



Σχεδιάγραμμα 7.

**Ξηρή βιομάζα φύλλων, (σχ. 7):** Όπως και στους βλαστούς, έτσι και στα φύλλα ακολουθείται το ίδιο πρότυπο στην επίδραση της λίπανσης στην αύξηση και μείωση

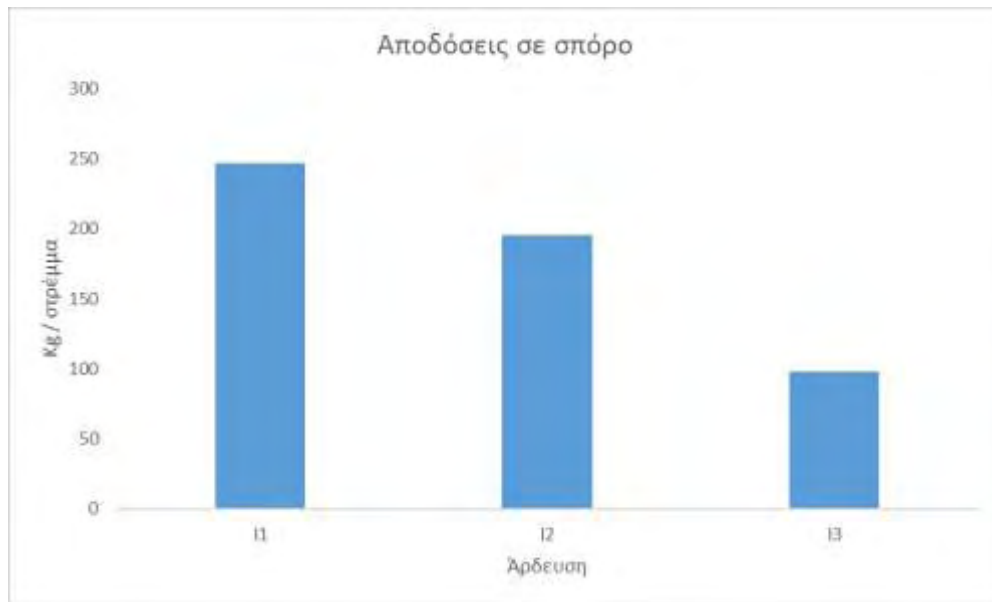
της βιομάζας. Παρατηρείται αύξηση της βιομάζας αρχικά μέχρι ενός μέγιστου και μετά πτώση. Η λίπανση στα φύλλα έδωσε διαφορές. Από τη δειγματοληψία στις 2/9 μέχρι και την τελευταία στις 13/10 παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές η F0 με την F10 αλλά η F5 δεν έχει διαφορές με καμία από τις άλλες δυο.



Σχεδιάγραμμα 8.

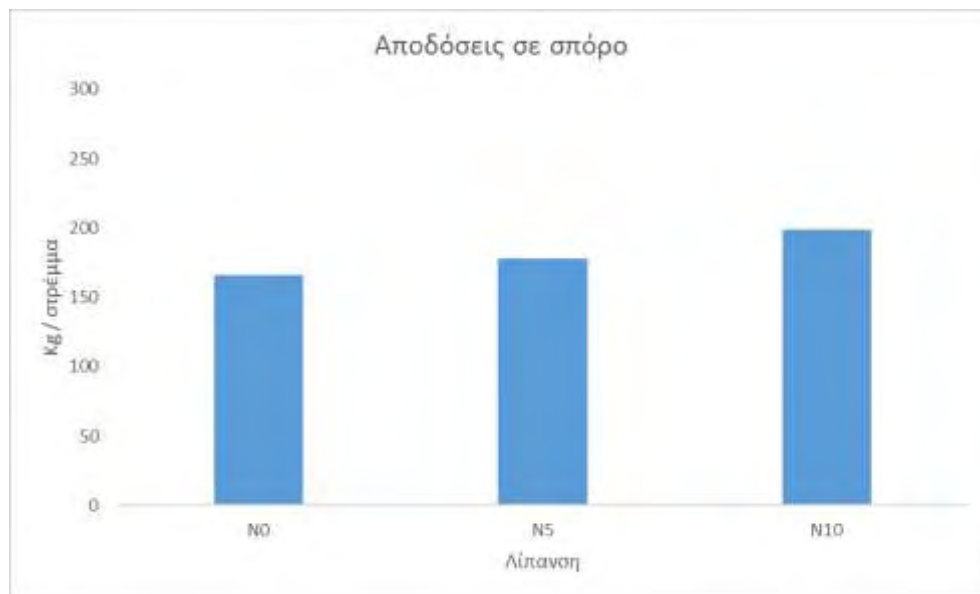
**Ξηρή βιομάζα καρποφόρων οργάνων, (σχ. 8):** Όπως και στο σχεδιάγραμμα 4, έτσι και εδώ στην περίπτωση της λίπανσης, τα καρποφόρα όργανα παρουσιάζουν συνεχή αύξηση. Η λίπανση έκανε διαφορά μόνο στην τελευταία δειγματοληψία, με την F0 να διαφέρει από την F10 και την F5 να μην έχει διαφορές με καμία από τις άλλες δυο.

### 3.3. Αποδόσεις σε σπόρο



Σχεδιάγραμμα 11.

Η άρδευση επηρέασε την παραγωγή του σπόρου και στις τρεις δόσεις της. Οι αποδόσεις σε σπόρο κυμάνθηκαν από 250 για την I1, έως 200 για την I2 και έως 95 kg/στρέμμα για την I3. Και οι τρεις αποδόσεις διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους.



Σχεδιάγραμμα 12.

Η λίπανση επηρέασε την παραγωγή του σπόρου διαφοροποιώντας την N10 από την N0. Οι αποδόσεις σε σπόρο κυμάνθηκαν από 170 για την N0, έως 190 για την N1 και έως 210 kg/στρέμμα για την N3. Οι N0 με την N10 διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ η κάθε μια δεν διαφοροποιείται από την N5 μεταχείριση.

### 3.4. Μετεωρολογικά δεδομένα.



Σχεδιάγραμμα 11.

Τα δεδομένα για τον καιρό της περιοχής κατά την περίοδο του πειράματος συλλέχθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η θερμοκρασία ήταν κανονική για την περιοχή με την μέγιστη να κυμαίνεται στους 30-35°C τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και μετά να μειώνεται σταδιακά τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο στους 20-25°C. Βροχοπτώσεις δεν υπήρξαν σημαντικές με τη συνολική βροχή να φθάνει τα 8mm διάσπαρτα μέσα στην καλλιεργητική περίοδο και να μην περνά το 1 mm ανά ημέρα.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τον Οκτώβριο πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα με ηλιάνθο στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας, στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με σκοπό να εκτιμήσει την αύξηση της βιομάζας της καλλιέργειας, όπως αυτή επηρεάστηκε από διαφορετικές δόσεις άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκαν τρεις δόσεις άρδευσης με βάση την εξαμυσοδιαπνοή της καλλιέργειας (100%, 50% και 25% αυτής) και τρεις δόσεις αζωτούχου λίπανσης με 0, 5 και 10 κιλά αζώτου αν στρέμμα.

Επιλέχθηκε ο ηλιάνθος ως φυτό, διότι είναι μια αρκετά δυναμική καλλιέργεια που κερδίζει συνεχώς έδαφος, λόγω της χρήσης του για την παραγωγή λαδιού, είτε για βρώση και την βιομηχανία τροφίμων, είτε για την παραγωγή βιοντίζελ, ζωοτροφών και γλυκερίνης ως. Έχει τη φήμη ότι είναι μια καλλιέργεια χαμηλών εισροών με μικρές απαιτήσεις σε λίπανση και άρδευση, όμως τα επιστημονικά δεδομένα πάνω στις απαιτήσεις τις καλλιέργειας στην περιοχή της Θεσσαλίας είναι περιορισμένα και γι' αυτό επιλέχθηκε η συγκεκριμένη καλλιέργεια. Η καλλιεργητική περίοδος που επιλέχθηκε ήταν αρκετά όψιμη μιας και στην περιοχή ο ηλιάνθος σπέρνεται παραδοσιακά από τα μέσα Απριλίου έως μέσα Μαΐου και κλείνει τον κύκλο του στα μέσα Σεπτεμβρίου όπου αλωνίζεται. Το να φυτευτεί η καλλιέργεια μέσα Ιουλίου ήταν μια πρόκληση για να μελετήσουμε το αν είναι εφικτό κάτι τέτοιο, ποια θα είναι η πορεία της καλλιέργειας και αν τελικά θα φθάσει σε σημείο να δώσει παραγωγή και πόση θα είναι αυτή.

Η επίδραση της άρδευσης ήταν πολύ σημαντική. Από τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας φάνηκε η επίδρασή της με την παραγόμενη βιομάζα ανά άρδευση, καθόλη τη διάρκεια της καλλιέργειας, να διαφέρει σημαντικά. Στην I1 άρδευση (100%) η παραγωγή έφθασε πάνω από 900 kg/στρέμμα το τέλος Σεπτεμβρίου και παρέμεινε σχετικά σταθερή μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου, ενώ η I2 (50%) τα 690 kg/στρέμμα και η I3 (25%) τα 380 kg/στρέμμα παρουσιάζοντας όμως πτώση στην τελευταία δειγματοληψία περίπου 50%. Η άρδευση εκτός από τη συνολική βιομάζα επέδρασε και στην βιομάζα των ίδιων των οργάνων, διαφοροποιώντας την μεταξύ των αρδεύσεων. Τα καρποφόρα όργανα από το σχηματισμό τους παρουσίαζαν αυξητική πορεία μέχρι την τελευταία δειγματοληψία και οι τρεις αρδεύσεις έδωσαν διαφορετικά αποτελέσματα. Η I1 άρδευση άγγιξε τα 480 kg/στρέμμα με την I2 να φθάνει στο 70% αυτής της τιμής και την I3 το 30%. Τα φύλλα και οι βλαστοί

επηρεάστηκαν και αυτοί με τη σειρά τους από την άρδευση και δώσαν διαφορετικά αποτελέσματα ανά δόση άρδευσης με το μέγιστο να παρατηρείται στις 22/9 και πτώση έως τις 13/10. Αυτή η πτώση των βλαστών και των φύλλων εξηγείται από το ότι το φυτό την περίοδο μετά την ανθοφορία μεταφέρει όλα του τα θρεπτικά στοιχεία από τα διάφορα όργανα στον σπόρο μιας και αυτός χρειάζεται. Το φαινόμενο επηρεάζεται και από τον χαμηλό φωτοσυνθετικό ρυθμό που υπάρχει εκείνη την περίοδο λόγω μικρής ημέρας αλλά και την αναπνοής του φυτού που συνεχίζει να καταναλώνει σάκχαρα για τις μεταβολικές λειτουργίες του.

Η λίπανση σε αντίθεση με την άρδευση δεν είχε τόσο μεγάλη επίδραση όσο θα περιμέναμε. Η μεγάλη δόση αζώτου (N2: 10 kg/στρέμμα) φάνηκε να επηρεάζει την συνολική παραγωγή βιομάζας, σε σύγκριση με την μηδενική δόση (N0: 0 kg/στρέμμα), ενώ η μεσαία δόση (N1:5 kg/στρέμμα) δεν διαφοροποιήθηκε από τις άλλες δύο. Οι βλαστοί στη N2 έφθασαν τα 280 kg/στρέμμα, στη N1 τα 260 kg/στρέμμα και στη N0 τα 240 kg/στρέμμα για να μειωθούν κατά 70-75% στο τέλος της καλλιέργειας. Η βιομάζα των φύλλων, ομοίως με τους βλαστούς, είχε την ίδια τάση. Την προτελευταία δειγματοληψία η N2 έφθασε τα 150 kg/στρέμμα, η N1 τα 140 kg/στρέμμα και η N0 τα 130 kg/στρέμμα για να μειωθούν κατά 50% έως την τελευταία δειγματοληψία. Τα καρποφόρα όργανα είχαν ανοδική πορεία φθάνοντας τα 360 kg/στρέμμα στη N2 μέχρι τα 300 kg/στρέμμα στη N0. Η συνολική ξηρή βιομάζα παρουσίασε αύξηση μέχρι την προτελευταία δειγματοληψία, αγγίζοντας τα 680 kg/στρέμμα για την N2 και τις N1 και N0 να είναι μειωμένες στο 88 και 80% αντίστοιχα. Κατά την τελευταία δειγματοληψία η συνολική βιομάζα παρουσίασε μείωση κατά 10 με 20% στις N1 και N0 ενώ στην N2 παρέμεινε σχετικά σταθερή. Συμπερασματικά η λίπανση έδωσε διαφορές αλλά όχι μεγάλες. Η μεγάλη λίπανση φάνηκε να επηρεάζει τη βιομάζα των βλαστών και των φύλλων από τα μέσα της καλλιέργειας δίνοντας μία μεγαλύτερη ώθηση στην καλλιέργεια σε σύγκριση με τις άλλες δυο λιπάνσεις οι οποίες ήταν αρκετά κοντά σε τιμές σε όλες τις δειγματοληψίες. Αυτή η αύξηση της βιομάζας στην περίπτωση της N2 εκφράστηκε σε περισσότερη παραγωγή σπόρου στο τέλος της καλλιέργειας. Το χωράφι ήταν αρκετά γόνιμο και έδωσε στα φυτά το άζωτο που χρειάζονταν ώστε να αναπτυχθούν κανονικά. Η διαφοροποίηση στην περίπτωση της N2 ίσως οφείλεται στην πιο άμεση διαθεσιμότητα του αζώτου του λιπάσματος απ' ότι αυτή του εδάφους.

Στην παραγωγή του σπόρου η άρδευση επηρέασε αρκετά και στις τρεις δόσεις της. Οι αποδόσεις σε σπόρο κυμάνθηκαν από 250 για την I1, έως 200 για την I2 και

έως 95 kg/στρέμμα για την I3. Και οι τρεις αποδόσεις διέφεραν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους. Η λίπανση επηρέασε την παραγωγή του σπόρου διαφοροποιώντας την N10 από την N0. Οι αποδόσεις σε σπόρο σε σχέση με την λίπανση κυμάνθηκαν από 170 για την N0, έως 190 για την N1 και έως 210 kg/στρέμμα για την N3. Οι N0 με την N10 διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους, ενώ η κάθε μια δεν διαφοροποιείται από την N5 μεταχείριση.

Συνοπτικά τα συμπεράσματα από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε είναι τα εξής:

- Η άρδευση είχε μεγάλο αντίκτυπο στην αύξηση και παραγωγικότητα της καλλιέργειας με τις τρεις αρδεύσεις να διαφοροποιούν την παραγωγή βιομάζας και σπόρου.
- Η λίπανση έπαιξε ρόλο κυρίως στη μεγάλη δόση η οποία διαφοροποιήθηκε αρκετά από την μηδενική αλλά οι διαφορές μεταξύ όλων των λιπάνσεων δεν ήταν τόσο μεγάλες όσο των αρδεύσεων.
- Η όψιμη σπορά δε συνίσταται. Τα φυτά κατάφεραν να ωριμάσουν τον σπόρο όμως η παραγωγή ήταν μικρή και η συγκομιδή στο τέλος δύσκολη. Παραγωγή 250 kg/στρέμμα λαμβάνεται από συμβατικές καλλιέργειες με λιγότερες αρδεύσεις. Η συγκομιδή στο τέλος παρουσίασε προβλήματα λόγω της υψηλής υγρασίας του σπόρου, λόγω του υγρού και κρύου καιρού, ενώ αρκετά φυτά δεν είχαν ξεραθεί τελείως ακόμα κάτι που σε πραγματικές καλλιεργητικές συνθήκες θα προκαλούσε πρόβλημα στον αλωνισμό με μηχανή.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, K. and Valenzuela, E. (2007). The World Trade Organisation's Doha Cotton Initiative: A Tale of Two Issues. *The World Economy*, 30(8), pp.1281-1304.
- Bare, J. (2010). Recommendation for land use impact assessment: first steps into framework, theory, and implementation. *Clean Techn Environ Policy*, 13(1), pp.7-18.
- Barnabè, A. Rispoli, C. Chiavetta, C. Pirola, C. L. Bianchi, D. C. Boffito, G. Carvoli, P. L. Porta, and R. Bucchi, D. (2013). *Land Use Change Impacts of Biofuels: A Methodology to Evaluate Biofuel Sustainability*. INTECH Open Access Publisher.
- Blanco, M. and Azqueta, D. (2008). Can the environmental benefits of biomass support agriculture?—The case of cereals for electricity and bioethanol production in Northern Spain. *Energy Policy*, 36(1), pp.357-366.
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J. and Kuhlmann, H. (2002). Impact assessment of abiotic resource consumption conceptual considerations. *Int J LCA*, 7(5), pp.301-307.
- Bureau, J., Disdier, A., Gauroy, C. and Tréguer, D. (2010). A quantitative assessment of the determinants of the net energy value of biofuels. *Energy Policy*, 38(5), pp.2282-2290.
- Cherubini, F. and Strømman, A. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. *Bioresource Technology*, 102(2), pp.437-451.
- El Bassan. (2010). "Handbook of Bioenergy crops, A complete reference to species, development and applications". Chapter 6 : Technical overview : Feedstock, types of biofuels and conversion technologies, pp. 46-48.
- El Bassan. (2010). "Handbook of Bioenergy crops. A complete reference to species, development and applications". Chapter 10 : Energy crops guide, pp.359-366
- European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*. (2010). Luxembourg.

- Harding, K., Dennis, J., von Blottnitz, H. and Harrison, S. (2008). A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. *Journal of Cleaner Production*, 16(13), pp.1368-1378.
- Kallivroussis, L., Natsis, A. and Papadakis, G. (2002). “The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece”.
- Kalita, D. (2008). Hydrocarbon plant—New source of energy for future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), pp.455-471.
- LANCA® - Land Use Indicator Value Calculation in Life Cycle Assessment. (2010). Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- Lychnaras, V., Rozakis, S., Soldatos, P., Tsiboukas, K., Panoutsou, C. (2007). “Economic Analysis of Perennial Energy Crops Production in Greece under the current CAP”, 15th European Biomass Conference & Exhibition From Research to Market Deployment, ICC Berlin, Germany, 7-11 May 2007.
- Ma, F. and Hanna, M. (1999). Biodiesel production: a review. *Journal Series #12109, Agricultural Research Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln*.1. *Bioresource Technology*, 70(1), pp.1-15.
- Marchetti, J., Miguel, V. and Errazu, A. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), pp.1300-1311.
- Mattila, T., Helin, T. and Antikainen, R. (2012). Land use indicators in life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess*, 17(3), pp.277-286,(17):pp.277-286.
- McKone, T., Nazaroff, W., Berck, P., Auffhammer, M., Lipman, T., Torn, M., Masanet, E., Lobscheid, A., Santero, N., Mishra, U., Barrett, A., Bomberg, M., Fingerman, K., Scown, C., Strogen, B. and Horvath, A. (2011). Grand Challenges for Life-Cycle Assessment of Biofuels. *Environmental Science & Technology*, 45(5), pp.1751-1756.
- Milà i Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Freiermuth Knuchel, R., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R. and Rydgren, B. (2007). Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA (11 pp). *Int J Life Cycle Assessment*, 12(1), pp.5-15.
- Milà i Canals, L., Romanyà, J. and Cowell, S. (2007). Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of ‘fertile land’ in Life Cycle Assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production*, 15(15), pp.1426-1440.
- Milford, A., Hannah and Loren Isom. (2009). “Handbook of plant-based biofuels”. Chapter 12 : Current and future perspectives, pp. 177-181.

- Rajagopal, D., y Zilberman, D., (2007). “Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels”. Bank Policy Research Working Paper No. 4341. Washington, DC, World Bank.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D. and Yu, T. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science*, 319(5867), pp.1238-1240.
- Soldatos, P., Lychnaras, V., Asimakis, D., Christou, M., (2004), “BEE- Biomass Economic Evaluation: A model for the economic analysis of energy crops production”, 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.
- Timmer, C.P. (2007). “Agriculture and economic development” .En B.L. Gardner y G.C. Rausser. *Handbook of agricultural economics*, Vol. 2A. Amsterdam, North-Holland.
- ΚΑΠΕ, 2006, «Ενεργειακές Καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα». Αθήνα, 2009.
- Μεμάκη Άννα, 2009. Διπλωματική εργασία, “Αξιολόγηση καλλιέργειας Ηλίανθου σε τρεις νομούς ( Αιτωλοακαρνανίας, Καρδίτσας και Κιλκίς)” Σελ. 11-12. Αθήνα.

## ΠΗΓΕΣ INTERNET

- Anon, (2016). [online] Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sunflower>  
[www.unl.edu/nac/atlas/Map\\_Html/Protection\\_of\\_Crops-Etc/National/Sunflower\\_yield/Sunflower\\_yield.htm](http://www.unl.edu/nac/atlas/Map_Html/Protection_of_Crops-Etc/National/Sunflower_yield/Sunflower_yield.htm) [Accessed 10 Feb. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: <http://www.seeds2000.net/images/2006%20Sunflower%20Yield%20Book.pdf> [Accessed 10 Feb. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: [http://www.agmrc.org/commodities\\_products/grains\\_oilseeds/sunflowercfm](http://www.agmrc.org/commodities_products/grains_oilseeds/sunflowercfm) [Accessed 10 Feb. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: <http://ezinearticles.com/?Biodiesel-Production-Waste---Everything-You-Need-to-Know&id=2317795> [Accessed 10 Feb. 2016].

- Anon, (2016). [online] Available at: <http://www3.me.iastate.edu/biodiesel/Pages/biodiesel25.html> [Accessed 10 Feb. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: <http://ezinearticles.com/?Biodiesel-Evolution&id=1209072&opt=print> [Accessed 10 Feb. 2016].
- Biodieselmagazine.com. (2016). Biodiesel Magazine - The Latest News and Data About Biodiesel Production. [online] Available at: [http://www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article\\_id=1288](http://www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article_id=1288) [Accessed 10 Feb. 2016].
- Cyberlipid.org. (2016). Main world source of oils. [online] Available at: <http://www.cyberlipid.org/glycer/glyc0051.htm> [Accessed 10 Feb. 2016].