



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΩΝ
ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΠΡΟΣ
ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ DIESEL**



ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: **Ε.Γ. ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ**, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015

Πρόλογος

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου με την παρούσα εργασία, αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ευάγγελο Γιακουμή. Η καθοδήγηση και οι συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν καθοριστικές ως προς την ολοκλήρωσή της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ανεξαιρέτως όλους τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για το εκπαιδευτικό και κοινωνικό έργο που διατελούν. Τέλος, ένα θερμό ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω και σε όλη μου την οικογένεια για την οικονομική και, πολύ περισσότερο, για την ψυχολογική υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μια στατιστική ανάλυση προκειμένου α) να βρεθούν οι μέσες τιμές των σημαντικότερων ιδιοτήτων συμπεριλαμβανομένης και της σύστασης σε λιπαρά οξέα των πιο διαδεδομένων φυτικών ελαίων και β) να ελεγχθεί τυχόν συσχέτιση των ιδιοτήτων αυτών με τις αντίστοιχες μεθυλεστέρων diesel που προκύπτουν από αυτά τα φυτικά έλαια. Για το σκοπό αυτό, αρχικά έγινε έρευνα στην διαθέσιμη βιβλιογραφία και συλλέχθηκαν στοιχεία για τις φυσικο-χημικές ιδιότητες και την σύσταση σε λιπαρά οξέα φυτικών ελαίων από περίπου 550 επιστημονικά άρθρα. Στη συνέχεια έγινε μια στατιστική ανάλυση με βάση τις αναφερόμενες μετρήσεις από κάθε άρθρο. Συνολικά παρουσιάζονται στοιχεία για 22 φυτικά έλαια, βρώσιμα και μη. Από την ανάλυση προέκυψαν μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις για 16 φυσικο-χημικές ιδιότητες. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης των παραπάνω ιδιοτήτων με τον βαθμό ακορεστότητας ενώ συγκρίθηκαν και με τις αντίστοιχες αυτών του βιοντίζελ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. Γενικά- Ενεργειακές Πηγές.....	7
1.2. Ορυκτές πηγές ενέργειας.....	8
1.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	15
1.4. Βιοκαύσιμα.....	21
2. ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ	24
2.1. Γενικά.....	24
2.2. Φυσικο-χημικές ιδιότητες φυτικών ελαίων.....	27
2.3. Χρήση των φυτικών ελαίων ως καύσιμο. Συσχετισμός με βιοντίζελ.....	30
2.4. Παραγωγή άλλων καυσίμων από φυτικά έλαια.....	32
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	33
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΥΤΙΚΟ ΕΛΑΙΟ	37
4.1 Έλαιο Babassu (<i>Attalea speciosa</i>).....	38
4.2 Έλαιο Canola (<i>Brassica rapa</i>).....	40
4.3 Καστορέλαιο (<i>Ricinus communis</i>).....	42
4.4 Κοκκοφοινικέλαιο (<i>Cocos nucifera</i>).....	44
4.5 Αραβοσιτέλαιο (<i>Zea mays</i>).....	46
4.6 Βαμβακέλαιο (<i>Gossypium</i>).....	48
4.7 Φουντουκέλαιο (<i>Corylus</i>).....	50
4.8 Έλαιο Jatropha (<i>Jatropha Curcas</i>).....	52
4.9 Έλαιο Karanja (<i>Millettia pinnata</i>).....	54
4.10 Λινέλαιο (<i>Linum usitatissimum</i>).....	56
4.11 Έλαιο Mahua (<i>Madhuca indica</i>).....	58
4.12 Έλαιο Neem (<i>Azadirachta indica</i>).....	60
4.13 Ελαιόλαδο (<i>Olea europaea</i>).....	62
4.14 Φοινικέλαιο (<i>Elaeis guineensis</i>).....	64
4.15 Φιστικέλαιο (<i>Arachis hypogaea</i>).....	66
4.16 Κραμβέλαιο (<i>Brassica napus</i>).....	68

4.17 Ρυζέλαιο (<i>Oryza sativa</i>)	70
4.18 Έλαιο Rubber-seed (<i>Hevea brasiliensis</i>).....	72
4.19 Καρθαμέλαιο (<i>Carthamus tinctorius</i>)	74
4.20 Σουσαμέλαιο (<i>Sesamum indicum</i>)	76
4.21 Σογιέλαιο (<i>Glycine max</i>).....	78
4.22 Ηλιέλαιο (<i>Helianthus annuus</i>)	80
5. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΕ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ	82
5.1. Γενικά	82
5.2. Βαθμός ακορεστότητας.....	87
5.3. Σύγκριση σύστασης σε λιπαρά οξέα των ελαίων με αυτήν του βιοντίζελ	88
6. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΦΥΣΙΚΟ/ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	90
6.1. Γενικά	90
6.2. Αριθμός ιωδίου	95
6.3. Αριθμός κετανίου	96
6.4. Πυκνότητα.....	99
6.5. Κινηματική συνεκτικότητα.....	99
6.6. Θερμογόνος δύναμη	101
6.7. Σημείο ανάφλεξης	102
6.8. Ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες.....	102
6.9. Οξειδωτική σταθερότητα	107
ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά- Ενεργειακές Πηγές

Η ενέργεια έχει σημαντικό ρόλο στην καθημερινή μας ζωή καθώς αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες στην κοινωνική, πολιτική, και οικονομική ανάπτυξη κάθε χώρας και συνεπώς ολόκληρου του πλανήτη. Γι' αυτό το λόγο η παραγωγή ενέργειας, η αποθήκευσή της και η μετατροπή της αποτελούσε και αποτελεί αντικείμενο μελέτης των ερευνητών όπως επίσης και των φορέων θέσπισης νομοθεσιών.

Οι πηγές ενέργειας μπορούν να καταταχθούν σε τρεις κατηγορίες: ορυκτές, ανανεώσιμες και πυρηνικές.

- Ορυκτά καύσιμα: σε αυτά περιλαμβάνονται το πετρέλαιο (ντίζελ), ο λιθάνθρακας (κοινώς κάρβουνο), το φυσικό αέριο, οι ασφαλτούχοι σχιστόλιθοι και η ασφαλτούχα άμμος καθώς και τα παράγωγα του πετρελαίου.

- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: αυτές περιλαμβάνουν την βιομάζα, την υδροηλεκτρική ενέργεια, την αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια (περιλαμβάνει και την θερμική και αυτήν που προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά), την γεωθερμική ενέργεια αλλά και τις θαλάσσιες πηγές ενέργειας όπως είναι η κυματική και η παλιρροϊκή.
- Σχάσιμες πηγές ενέργειας: είναι το ουράνιο-235, το ουράνιο-233, το πλουτώνιο-239 και το θόριο. Τα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα φαίνονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα σε MJ [17]

Δευτέριο	Ουράνιο	Λιθάνθρακας	Ασφαλτούχος σχιστόλιθος	Πετρέλαιο	Φυσικό αέριο	Ασφαλτούχα άμμος
$7,5 \times 10^{24}$	$1,2 \times 10^{20}$	320×10^{15}	79×10^{15}	37×10^{15}	$19,6 \times 10^{15}$	$6,1 \times 10^{15}$

1.2. Ορυκτές πηγές ενέργειας

Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούνται από υδρογονάνθρακες που βρίσκονται σε πετρώματα στον φλοιό της Γης. Σχηματίστηκαν από τα απολιθώματα νεκρών ζώων και φυτών υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων βαθιά στο έδαφος για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Ο σημερινός τρόπος ζωής βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην χρήση των ορυκτών καυσίμων καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής ζήτησης καλύπτεται από αυτά και συγκεκριμένα πάνω από το 85%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2, παρ' όλη την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 1.2. Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση

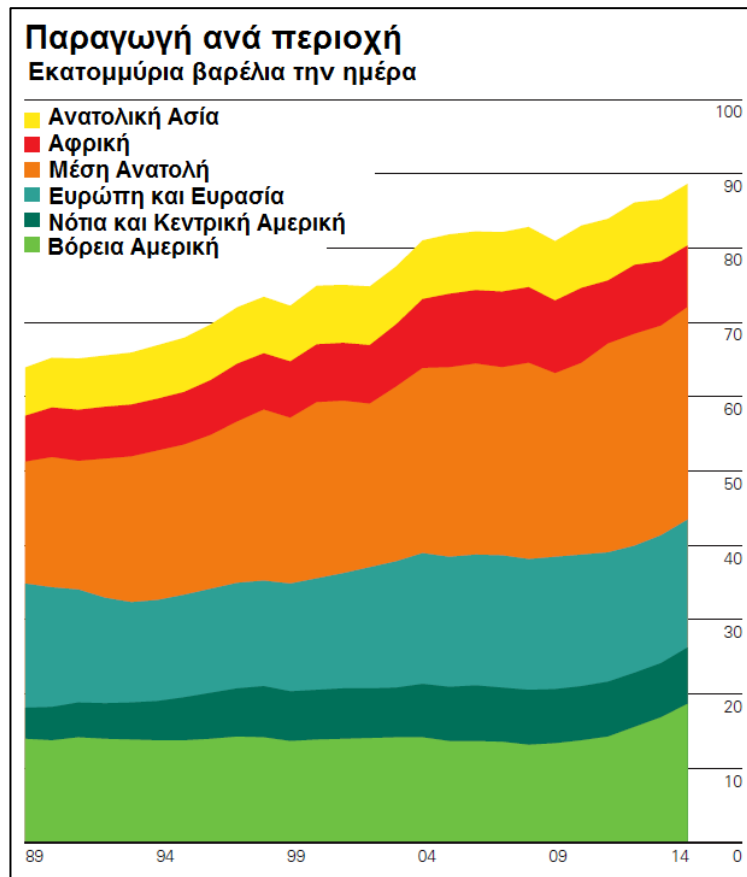
Πηγές ενέργειας	Ποσοστό επί % του συνολικού (2005) [17]	Ποσοστό επί % του συνολικού (2014) [11]
Πετρέλαιο	40	32,6
Λιθάνθρακας	23	30
Φυσικό αέριο	23	23,7
Πυρηνική	8	4,4
Ανανεώσιμες	6	9,3

1.2.1. Πετρέλαιο

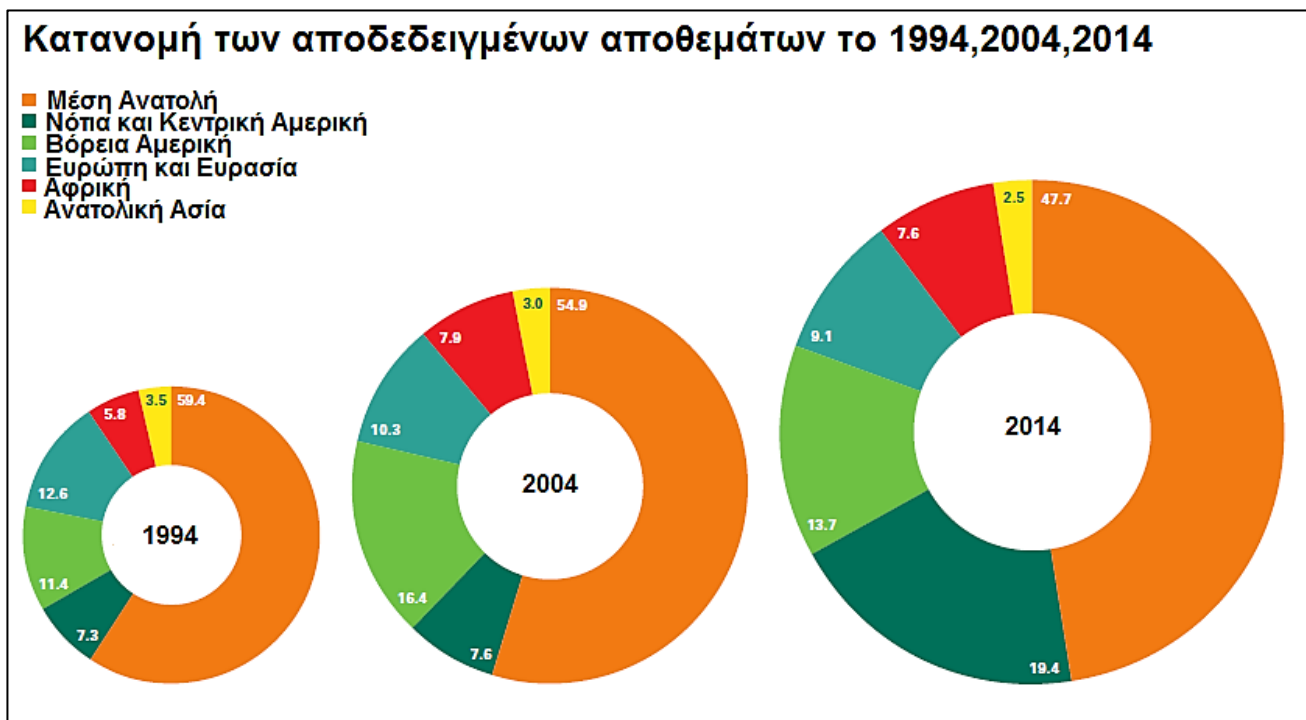
Το ακατέργαστο πετρέλαιο αποτελείται από ένα σύνθετο μίγμα διάφορων υδρογονανθράκων, κυρίως αλκάνια και αρωματικές ενώσεις, του οποίου η εμφάνιση, η σύνθεση και συνεπώς οι φυσικο-χημικές ιδιότητες ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό. Εξορύσσεται από κοιτάσματα το βάθος των οποίων φτάνει συνήθως τα 4 με 5 χιλιόμετρα. Στη συνέχεια μεταφέρεται σε διυλιστήρια, όπου καθαρίζεται από προσμίξεις (όπως το θείο που οδηγεί στη ρύπανση του αέρα μέσα από τις εξατμίσεις των οχημάτων) και μέσω της διαδικασίας της απόσταξης μετατρέπεται σε διάφορα καύσιμα όπως βενζίνη, ντίζελ, πετρέλαιο θέρμανσης και κηροζίνη [17].

Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 1.2, το πετρέλαιο είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας όλου του πλανήτη ξεπερνώντας το κάρβουνο, το φυσικό αέριο, τα πυρηνικά καύσιμα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η παραγωγή πετρελαίου κατά το 2014 έφθασε τους 4221 εκατομμύρια τόνους (ή αλλιώς τα 92 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα) σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 2,3% σε σχέση με το 2013. Ο κύριος παραγωγός πετρελαίου είναι η Μέση Ανατολή με 1340 εκατομμύρια τόνους περίπου, δηλαδή περισσότερο από το 30% της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ έπονται η Βόρεια Αμερική με 867 εκατομμύρια τόνους και η Ευρώπη και Ευρασία με 834 εκατομμύρια τόνους. Αναλυτικότερα τα παραπάνω φαίνονται και στο Σχήμα 1.1 [11].

Όσον αφορά τα αποθέματα πετρελαίου, αυτά φτάνουν τα 1700 δισεκατομμύρια βαρέλια (ή τους 240 δισεκατομμύρια τόνους). Σχεδόν τα μισά κοιτάσματα πετρελαίου του πλανήτη βρίσκονται στην Μέση Ανατολή (47,7% επί του συνολικού) με την Νότια και Κεντρική Αμερική να ακολουθεί με 19,4% των παγκόσμιων κοιτασμάτων (κυρίως λόγω της Βενεζουέλας που μόνη της κατέχει το 17,5% των κοιτασμάτων). Στη συνέχεια ακολουθεί η Βόρεια Αμερική και έπειτα η Ευρώπη και Ευρασία. Μικρότερα ποσοστά κατέχουν η Αφρική και η Ανατολική Ασία. Τα παραπάνω γίνονται και σχηματικά αντιληπτά μέσω του Σχήματος 1.2. Γενικά, τα παγκόσμια κοιτάσματα πετρελαίου έχουν αυξηθεί σε σχέση με μια δεκαετία πριν (2004) όπου έφθαναν τα 1366 δισεκατομμύρια βαρέλια αλλά αυτό κυρίως οφείλεται στην εύρεση νέων κοιτασμάτων ή στην αξιοποίηση κοιτασμάτων που μέχρι πρότινος λόγω ελλιπούς τεχνολογίας, ήταν μη προσβάσιμα (π.χ. πολύ μεγάλο βάθος). Το φαινόμενο αυτό βέβαια είναι πλασματικό καθώς οι εκτιμήσεις αναφέρουν ότι τα μεγαλύτερα αποθέματα πετρελαίου σε περίπου 50 χρόνια θα έχουν εξαντληθεί αν λάβουμε υπόψη το σημερινό ρυθμό κατανάλωσης [11,17].



Σχήμα 1.1. Παραγωγή πετρελαίου σε εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως [11].



Σχήμα 1.2. Κατανομή των κοιτασμάτων πετρελαίου ανά τον κόσμο [11].

1.2.2. Φυσικό αέριο

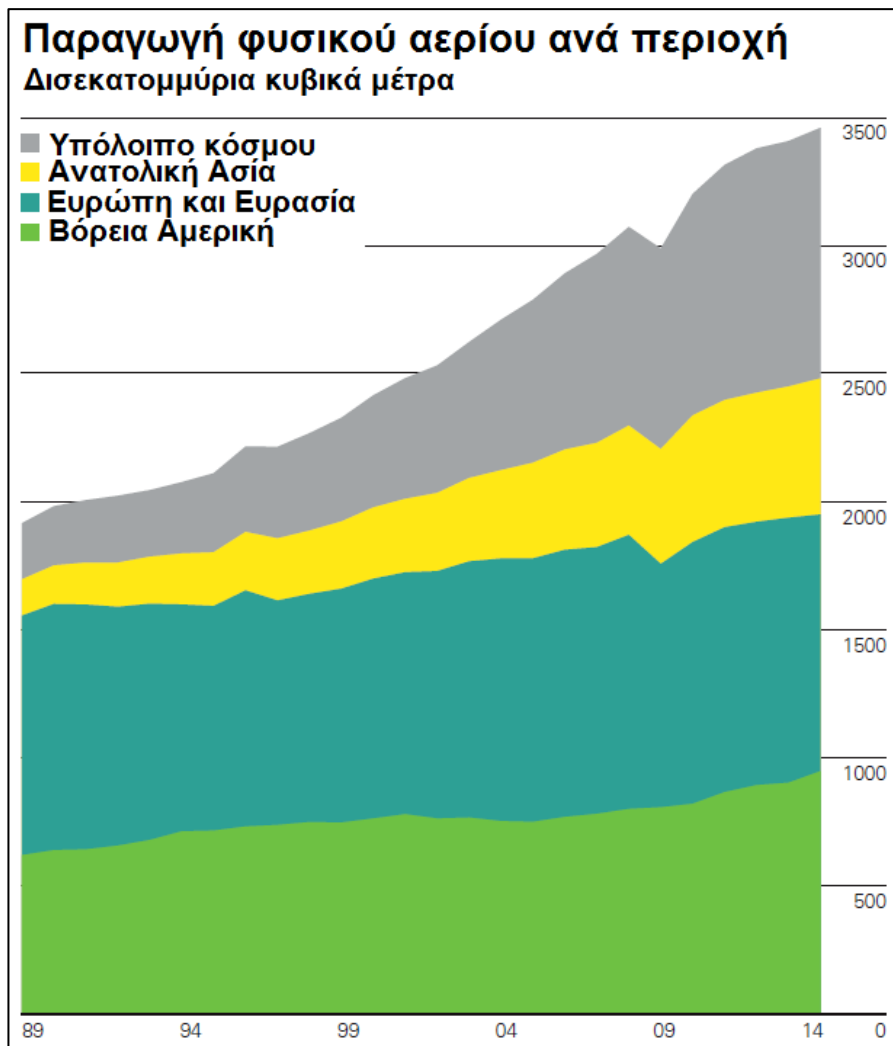
Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από ένα μίγμα αλκανίων μικρής αλυσίδας, δηλαδή μεθάνιο (CH_4), αιθάνιο (C_2H_6), προπάνιο (C_3H_8), βουτάνιο και ισοβουτάνιο (C_4H_{10}) και πεντάνιο (C_5H_{12}). Βέβαια σε αυτό περιέχονται και διάφορες άλλες χημικές ενώσεις σε μικρές ποσότητες, όπως διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, υδρόθειο και αμμωνία. Το μίγμα αυτό καθαρίζεται από προσμίξεις ενώ αφαιρούνται και οι υδρογονάνθρακες με αριθμό ατόμων άνθρακα πάνω από 3. Έτσι το φυσικό αέριο που πωλείται αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και αιθάνιο. Μια τυπική χημική σύσταση του φυσικού αερίου δίνεται στον Πίνακα 1.3 [17].

Πίνακας 1.3. Χημική σύσταση του φυσικού αερίου και εύρος τιμών [17].

Συστατικά	Τυπική σύσταση (% κατ' όγκο)	Εύρος (% κατ' όγκο)
Μεθάνιο	94,9	87,0-96,0
Αιθάνιο	2,5	1,8-5,1
Προπάνιο	0,2	0,1-1,5
Βουτάνιο	0,03	0,01-0,3
Ισοβουτάνιο	0,03	0,01-0,3
Πεντάνιο	0,01	ΐχνη-0,14
Ισοπεντάνιο	0,01	ΐχνη-0,14
≥ Εξάνιο	0,01	ΐχνη-0,06
Άζωτο	1,6	1,3-5,6
Διοξείδιο του άνθρακα	0,7	0,1-1,0
Οξυγόνο	0,02	0,01-0,1
Υδρογόνο	ΐχνη	ΐχνη-0,02

Το φυσικό αέριο γνωρίζει σταθερά μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία 20 χρόνια καθώς είναι το πιο φιλικό προς το περιβάλλον ορυκτό καύσιμο. Λόγω της φύσης του (μεγάλη περιεκτικότητα σε μεθάνιο), η καύση του απελευθερώνει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε σχέση με άλλα καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο και συνεπώς συμβάλλει λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιείται στον βιομηχανικό τομέα, σε σπίτια για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, στην ηλεκτροπαραγωγή και στον τομέα των μεταφορών.

Η παραγωγή φυσικού αερίου κατά το 2014 έφτασε τα 3461 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα, μια αύξηση 1,6% σε σχέση με το 2013, ενώ σε σχέση με το 2004 σημειώνεται αύξηση 27,7%. Μεγαλύτερος παραγωγός φυσικού αερίου είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες με 728 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (21,4% του συνολικού) και ακολουθεί η Ρωσία με 579 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (16,7% του συνολικού). Γενικά η Ευρώπη και Ευρασία σαν ευρύτερη περιοχή είναι πρώτη στην παραγωγή με 1002 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Μια σχηματική παρουσίαση των παραπάνω γίνεται στο Σχήμα 1.3. [11].



Σχήμα 1.3. Παραγωγή φυσικού αερίου ανά τον κόσμο [11].

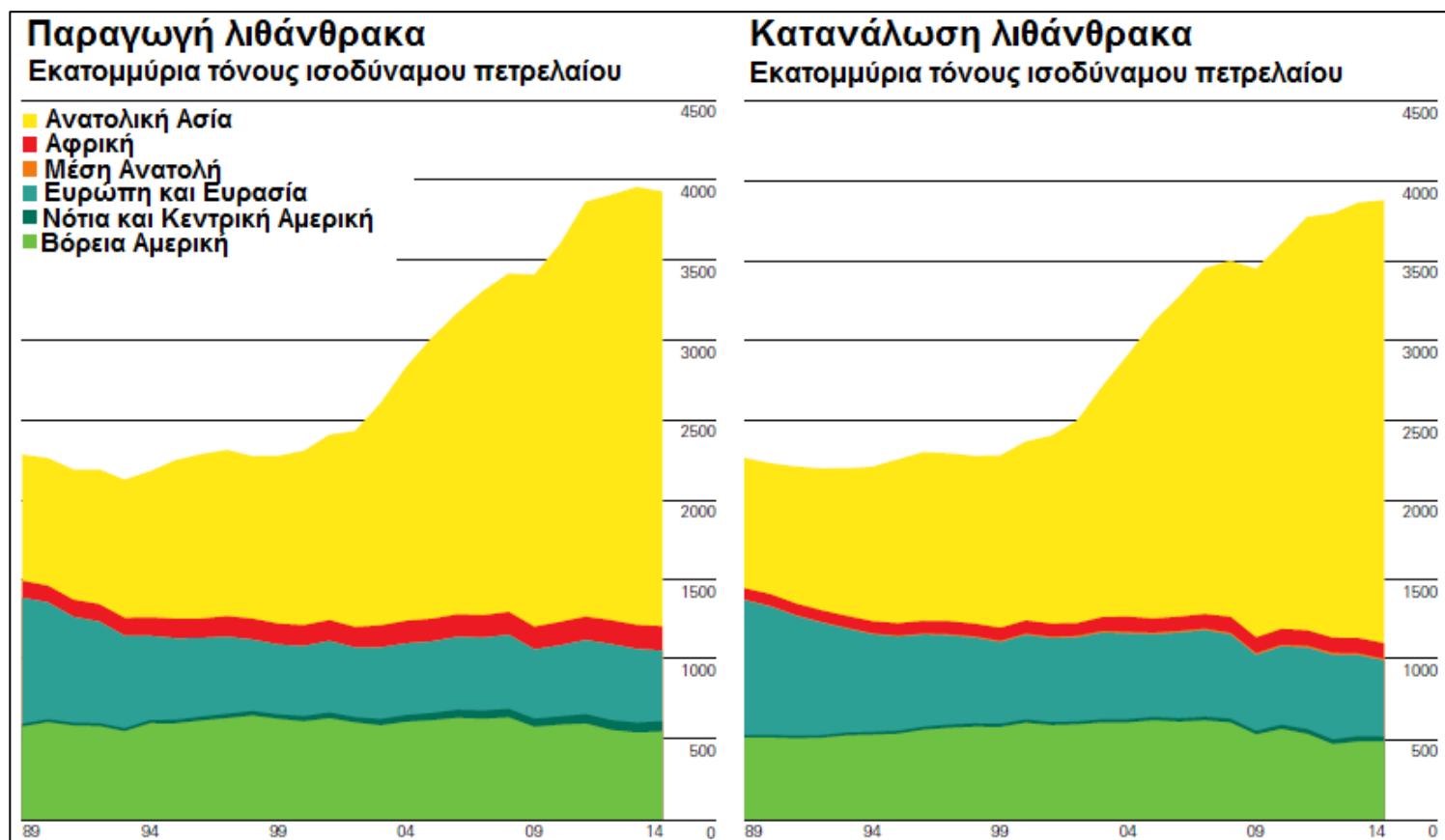
1.2.3. Λιθάνθρακας

Αποτελεί το πρώτο γνωστό και παλαιότερο ορυκτό καύσιμο. Ο λιθάνθρακας είναι ένα σύνθετο ετερογενές εύφλεκτο υλικό που αποτελείται από ενώσεις που είναι χρήσιμες (όπως ο άνθρακας και το υδρογόνο) και από ενώσεις που είναι άχρηστες (προσμίξεις όπως η υγρασία, η τέφρα, το οξυγόνο, το θείο και βαρέα μέταλλα). Γενικά χαρακτηρίζεται ως ένα ιζηματογενές πέτρωμα, και η χημική του σύσταση δεν είναι πάντα σταθερή. Γι' αυτό το λόγο χωρίζεται σε 4 κατηγορίες (γενικά η κάθε μία έχει το δικό της εμπειρικό χημικό τύπο) που είναι: ο ανθρακίτης, ο ασφαλτούχος άνθρακας, ο υπο-ασφαλτούχος άνθρακας και ο λιγνίτης. Ο λιθάνθρακας χαρακτηρίζεται ως «κακής» ποιότητας καύσιμο καθώς είναι αρκετά ρυπογόνο και οι εκπομπές ρύπων κατά την καύση του είναι αρκετά μεγάλες [17].

Γενικά, πάντως, η παραγωγή λιθάνθρακα (3934 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου το 2014) εμφάνισε μεγάλη αύξηση την τελευταία δεκαετία λόγω της εισαγωγής της Κίνας στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη. Η παραγωγή λιθάνθρακα στην Κίνα έφθασε τους 1845 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, δηλαδή παράγει περίπου τον μισό λιθάνθρακα του πλανήτη (ποσοστό 46,9% του συνολικού) ενώ γενικά το ποσοστό της Ανατολικής Ασίας φτάνει το 69,2% της παγκόσμιας παραγωγής. Ο επόμενος παραγωγός λιθάνθρακα είναι η Βόρεια Αμερική με 14%, ποσοστό που δείχνει και την τεράστια διαφορά [11].

Η αυξημένη παραγωγή που αναφέρθηκε παραπάνω δεν σημαίνει και στροφή της παγκόσμιας κοινότητας στο λιθάνθρακα σαν καύσιμο καθώς η πλειονότητά του καταναλώνεται εκεί που παράγεται, δηλαδή στην Κίνα. Η παγκόσμια κατανάλωση λιθάνθρακα έφθασε τους 3882 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (αύξηση 0,4% σε σχέση με το 2013, αλλά είναι το μικρότερο ποσοστό αύξησης που εμφανίστηκε την τελευταία δεκαετία) με την Κίνα να καταναλώνει το 50,6% αυτού [11].

Συνολικά, η παραγωγή και κατανάλωση λιθάνθρακα εμφανίζει πτωτικές τάσεις την τελευταία δεκαετία σε όλες τις περιοχές του πλανήτη με εξαίρεση την Ανατολική Ασία (κυρίως λόγω της Κίνας και δευτερεύοντος λόγω της Ινδίας), όπως γίνεται και καλύτερα αντιληπτό μέσω του Σχήματος 1.4. που ακολουθεί.



Σχήμα 1.4. Παραγωγή και κατανάλωση λιθάνθρακα ανά περιοχή [11].

1.2.4. Μειονεκτήματα ορυκτών καυσίμων

Παρ' ότι η παραγωγή ορυκτών καυσίμων συνεχίζεται ακόμα και σήμερα στο υπέδαφος, ο ρυθμός κατανάλωσής τους ξεπερνάει κατά πολύ τον ρυθμό παραγωγής τους. Γι' αυτό το λόγο, τα ορυκτά καύσιμα θεωρούνται μη ανανεώσιμα. Είναι γνωστό το πρόβλημα που υπάρχει με το πετρέλαιο καθώς δεδομένης της υπέρμετρης κατανάλωσής του θεωρείται αναπόφευκτη η εξάντληση των παγκόσμιων κοιτασμάτων, κάτι που θα έχει τεράστιες επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία. Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Περίπου 98% των εκπομπών αυτών προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων πράγμα που εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκτός όλων των παραπάνω, τα ορυκτά καύσιμα είναι ανόμοια κατανομημένα στον κόσμο. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, η Μέση Ανατολή παράγει το 32% του παγκόσμιου πετρελαίου και κατέχει περίπου το 50% των παγκόσμιων κοιτασμάτων πετρελαίου ενώ τα συγκεκριμένα κοιτάσματα εξαντλούνται σε μικρότερο ρυθμό από οποιοδήποτε άλλα στον κόσμο [11,17].

Συμπεραίνουμε ότι εξαιτίας των παραπάνω θεμάτων (περιβαλλοντικά, οικονομικά και γεωπολιτικά), το υπάρχον ενεργειακό σύστημα δεν είναι βιώσιμο και ότι η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αναγκαία για την εξασφάλιση της ομαλής παραγωγής ενέργειας και συνεπώς για την περαιτέρω ανάπτυξη του πλανήτη.

1.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται από την αξιοποίηση της ενέργειας των φυσικών φαινομένων και αποκαλούνται έτσι διότι οι φυσικές διεργασίες, που λαμβάνουν χώρα στη Γη, είναι ανεξάντλητες. Κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι έχουν την δυνατότητα να παράγουν ενέργεια με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένες σε παγκόσμια κλίμακα απ' ό,τι τα ορυκτά και τα πυρηνικά καύσιμα. Όπως παρουσιάστηκε στον Πίνακα 1.2 παραπάνω, το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ανέρχεται στο 9,3% το 2014 με σαφής αύξηση από το αντίστοιχο 6% του 2005 ενώ αναμένεται να αυξηθεί και άλλο στις επόμενες δεκαετίες (στο 30-80% το 2100) με στόχο να καλύψει το κενό που θα αφήνει σταδιακά η έλλειψη πετρελαίου [17].

1.3.1. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω της αξιοποίησης του νερού των ποταμών και λιμνών. Για να επιτευχθεί αυτό κατασκευάζονται φράγματα με σκοπό την αποθήκευση νερού και στη συνέχεια σε μικρότερο υψόμετρο τοποθετούνται υδροστρόβιλοι σε συνδυασμό με γεννήτριες. Κατά την λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού σταθμού το νερό αφήνεται να κυλήσει σε αγωγούς που το οδηγούν στον υδροστρόβιλο. Έτσι η βαρυτική δυναμική ενέργεια που βρισκόταν αποθηκευμένη στο νερό μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια καθώς αυτό ρέει στους αγωγούς και στη συνέχεια αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του συστήματος υδροστροβίλου-γεννήτριας.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί θεωρούνται εξαιρετικά αποδοτικοί και ο καλύτερος τρόπος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς οι βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων είναι πάνω από 90% για ισχείς που ξεπερνούν το 1MW ενώ και ο βαθμός απόδοσης των γεννητριών φθάνει το 98-99%, με το συνολικό βαθμό απόδοσης των μεγαλύτερων και νεότερων υδροηλεκτρικών σταθμών να φθάνει το 90% σε αντίθεση με τα βέλτιστα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα και ο βαθμός απόδοσής τους δεν ξεπερνάει το 50% [17].

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παρέχουν σχεδόν το 20% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας, το σύνολο σχεδόν της ηλεκτρικής ενέργειας της Νορβηγίας καθώς και πάνω από το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Το συνολικό διαθέσιμο παγκόσμιο δυναμικό για μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς εκτιμάται ότι είναι πάνω από 2200 GW εκ των οποίων μόνο το 25% αξιοποιείται αυτή τη στιγμή. Παρ' όλα αυτά η κατασκευή μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών ενέχει και προβλήματα κυρίως οικολογικά (κατασκευή μεγάλου ταμιευτήρα, επίπτωση στην χλωρίδα και πανίδα, πιθανή επίπτωση στα υπόγεια νερά), οικονομικά (χρήση γης) και κοινωνικά (μετακίνηση οικισμών λόγω κατάκλισης, αλλαγή συνηθειών) [17].

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα έχουν παρόμοιους βαθμούς απόδοσης με τα μεγαλύτερα έργα και εμφανίζουν λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις που έχουν να κάνουν με την οπτική όχληση και την ιχθυοπανίδα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ηλεκτροδότηση αγροτικών κοινωνιών και να βοηθήσουν στην αποκεντροποίηση της παραγωγής ενέργειας. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί η ενεργειακή αυτάρκεια των αναπτυσσόμενων χωρών με μικρό κόστος παραγόμενης ενέργειας κάνοντας χρήση των φυσικών υδάτινων πόρων [17,20].

Η παγκόσμια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κατά το 2014 αυξήθηκε κατά 2% σε σχέση με το 2013 (ποσοστό μικρότερο βέβαια της μέσης ετήσιας αύξησης). Παρατηρούμε αύξηση κατά 15,7% της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Κίνα και μείωση σε σχεδόν όλο το δυτικό ημισφαίριο και την Ευρασία λόγω ξηρασίας. Επίσης κατά το 2014 η υδροηλεκτρική παραγωγή έφτασε να αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό ρεκόρ 6,8% της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας με την κατανάλωση να φθάνει τις 3885 TWh (αύξηση 2% από το 2013) [11].

1.3.2. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης και συγκεκριμένα τον πυρήνα της. Για αιώνες αυτή η ενέργεια γινόταν αντιληπτή μόνο μέσω κάποιων ανωμαλιών της επιφάνειας της Γης που έφερναν την θερμότητα αυτή από τον πυρήνα στην επιφάνεια. Τα ηφαίστεια, οι πίδακες νερού (γκείζερς), και οι πηγές ζεστού νερού αποτελούν τέτοια παραδείγματα. Η γεωθερμική ενέργεια όμως δεν είναι ίδια σε όλες τις περιοχές του πλανήτη και κατηγοριοποιείται σε σχέση με το θερμοκρασιακό της επίπεδο. Έτσι έχουμε ζώνες υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150°C), μέσης ενθαλπίας (80 έως 150 °C) και χαμηλής ενθαλπίας (25 έως 80 °C). Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο που έχει μία γεωθερμική πηγή αλλάζει και η χρήση της.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας κατά τα τελευταία 30 χρόνια έγινε δυνατή η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και συνεπώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ζώνες υψηλής ενθαλπίας με μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Η γεωθερμική ενέργεια είναι ανανεώσιμη, φθηνή και δεν συμβάλλει στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πλειάδα εφαρμογών εκτός της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς μάλιστα να απαιτείται πηγή υψηλής ενθαλπίας. Σε αυτές περιλαμβάνονται η θέρμανση χώρων, η θέρμανση νερού για οικιακή χρήση, η παραγωγή ξηρού πάγου, η χρήση σε αντλίες θερμότητας, η θέρμανση θερμοκηπίων, η δημιουργία τεχνητών ιαματικών λουτρών και η χρήση σε βιομηχανικές διεργασίες.

Χώρες από όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν την γεωθερμική ενέργεια με τον αριθμό τους να φτάνει τις 24 ενώ η εγκατεστημένη ισχύς έφτασε τα 12,6 GW καταγράφοντας μια αύξηση της τάξεως του 5,7% σε σχέση με το 2013. Στην Ελλάδα, λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, παρατηρούνται σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μέτρα) παρ' όλα αυτά μένουν ανεκμετάλλευτες.

1.3.3. Αιολική ενέργεια

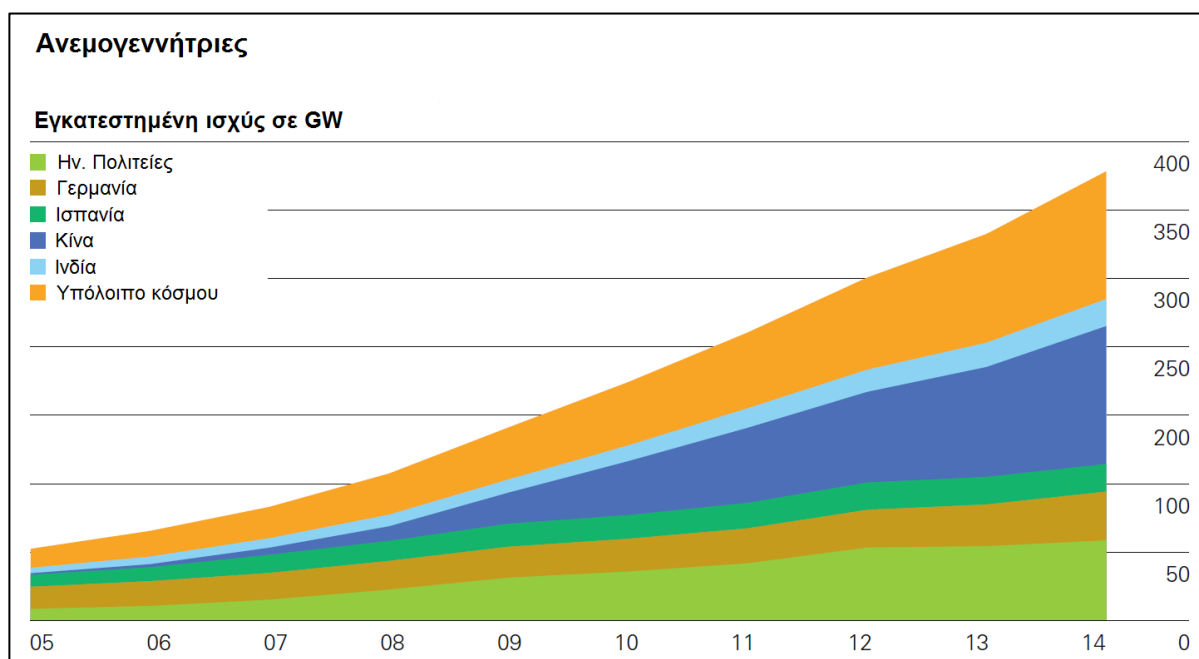
Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες από τον άνθρωπο για να τροφοδοτήσει μύλους για την άλεση σιταριού και για την άντληση νερού. Η τεχνολογική εξέλιξη όμως από τη δεκαετία του 1980 σε τομείς όπως η αεροδυναμική, η τεχνολογία υλικών, ο σχεδιασμός, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου και η αύξηση της

υπολογιστικής ισχύος οδήγησε στην παραγωγή οικονομικά βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.

Κύριο χαρακτηριστικό της αιολικής ενέργειας είναι η μη ρυτιγόνα φύση της και ο σχετικά ισομερής καταμερισμός της στον πλανήτη. Επίσης, μεγάλο πλεονέκτημα αποτελεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακόμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας κάτι που δεν είναι εφικτό με την ηλιακή ενέργεια.

Κάποια μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας αφορούν τους περιορισμούς που προκύπτουν από τη γεωγραφική διάταξη μιας περιοχής και τη μετεωρολογία.

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς οι ανεμογεννήτριες με την πρόοδο της τεχνολογίας γίνονται όλο και πιο αποδοτικές με ταυτόχρονη αύξηση του μεγέθους τους και συνεπώς της μέγιστης παραγόμενης ισχύς τους ενώ αυτό έχει και θετικό αντίκτυπο στην τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές. Η παγκόσμια αιολική κατανάλωση ενέργειας κατά το 2014 έφθασε τις 706 TWh, μια αύξηση της τάξεως του 10,2% σε σχέση με το 2013 ενώ η διαφορά σε σχέση με το 2004, δηλαδή μια δεκαετία πριν, είναι τεράστια με την κατανάλωση τότε να φτάνει τις 86 TWh, μια αύξηση του 721%. Επίσης κατά το 2014 παρατηρήθηκε αύξηση της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος σε 373 GW από 321 GW το 2013 (αύξηση κατά 16,2%) με πρωταγωνιστή την Κίνα (αύξηση 25,4%) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5 [11].



Σχήμα 1.5. Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών σε GW [11]

1.3.4. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια ορίζεται ως η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο και προσπίπτει στη Γη. Η ενέργεια αυτή διαδίδεται στο Διάστημα με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, των οποίων το μήκος κύματος κυμαίνεται από 0,20 μέχρι 15 μm . Βέβαια η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας για επίγειες εφαρμογές δεν είναι παντού και πάντοτε η ίδια καθώς συνθήκες όπως οι εποχές, η ώρα της μέρας, η τοποθεσία και ο προσανατολισμός του συλλέκτη ηλιακής ακτινοβολίας την επηρεάζουν.

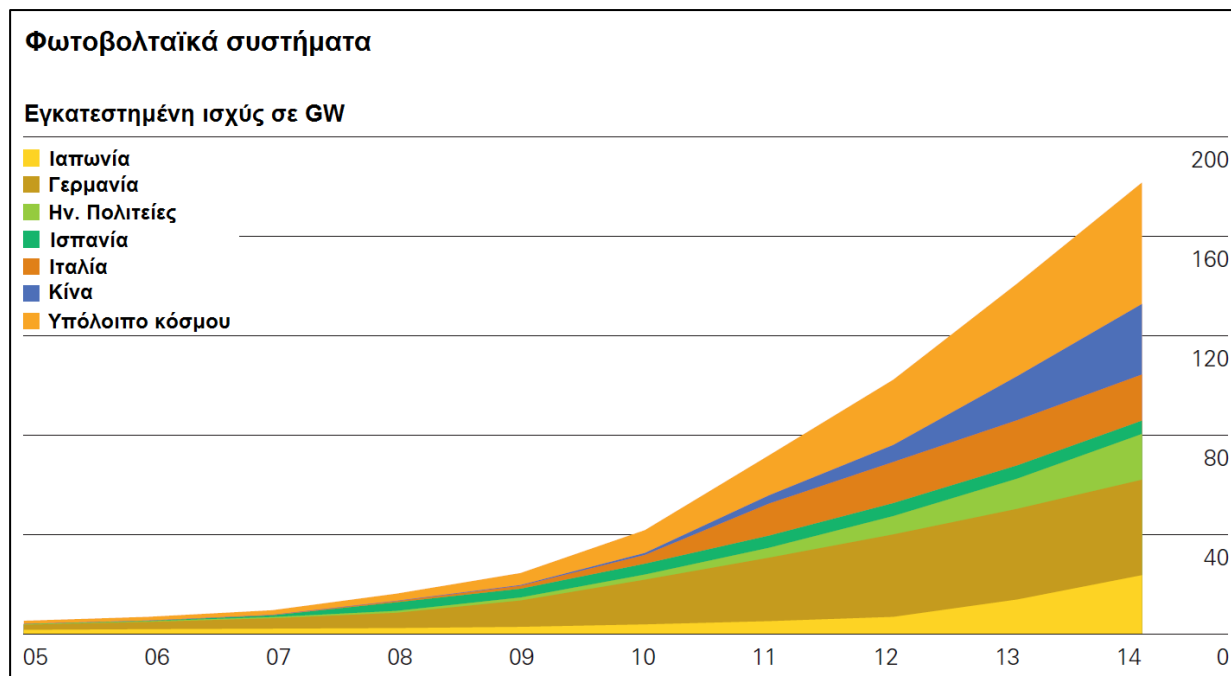
Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω διάφορων εφαρμογών όπως η θέρμανση χώρων, η θέρμανση νερού, τα φωτοβολταϊκά, τα συστήματα παραγωγής ατμού αλλά και τα ηλιακά στεγνωτήρια και οι ηλιακοί φούρνοι. Βασικό χαρακτηριστικό κάθε ηλιακού συστήματος παραγωγής ενέργειας είναι ο ηλιακός συλλέκτης καθώς αποτελεί ένα είδος εναλλάκτη θερμότητας που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. [17]

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν γνωρίσει μεγάλη αύξηση τα τελευταία χρόνια καθώς αποτελούν τεχνολογία «φυσική» προς το περιβάλλον, και δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων περιοχών, εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία επαρκεί, χωρίς να απαιτείται η σύνδεσή τους στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ οι μικρές απαιτήσεις συντήρησης και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους τα κάνουν ακόμα πιο ελκυστικά.

Το κύριο μειονέκτημα των ηλιακών συστημάτων αφορά την αδυναμία παραγωγής ενέργειας κατά την διάρκεια της νύχτας λόγω έλλειψης φωτός ενώ υπάρχουν και κάποιες περιβαλλοντικές ανησυχίες, καθώς κατά την κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών απελευθερώνονται κάποια τοξικά χημικά που όμως, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την στροφή σε λεπτότερους συλλέκτες, εξαλείφονται [17,21].

Η παγκόσμια κατανάλωση ηλιακής ενέργειας γνωρίζει τρομερή αύξηση τα τελευταία χρόνια καθώς το 2014 έφτασε τις 186 TWh (αύξηση 38,2% σε σχέση με το 2013) ενώ μια δεκαετία πριν το ποσό αυτό έφθανε τις 3,7 TWh (αύξηση κατά 4927% μέσα σε δέκα χρόνια). Εξηγείται έτσι και η αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε 180,4 GW το 2014 (από 140,2 GW το 2013, αύξηση 28,7%) ενώ το 2005 έφθανε τα 5,1 GW (αύξηση 3437%). Οι χώρες με

την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών συστημάτων στον πλανήτη είναι η Γερμανία, η Κίνα, η Ιαπωνία, η Ιταλία και οι Ηνωμένες Πολιτείες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.6 [11].



Σχήμα 1.6. Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς σε GW [11].

1.3.5. Άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας αφορούν την αξιοποίηση του νερού των ωκεανών. Η εκμετάλλευση της κυματικής και τις παλιρροϊκής ενέργειας μέσω συστημάτων που χρησιμοποιούν την ανωστική δύναμη του νερού κάνουν δυνατή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλα συστήματα αφορούν την εκμετάλλευση της θαλάσσιας θερμικής ενέργειας δηλαδή της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της ζεστής επιφάνειας της θάλασσας και των κρύων βαθιών νερών για την παραγωγή ενέργειας.

Τέτοια συστήματα παρ' ότι δε μολύνουν το περιβάλλον και δε βλάπτουν τα θαλάσσια οικοσυστήματα βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.4. Βιοκαύσιμα

Μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι και η βιομάζα, στην οποία περιλαμβάνονται είδη φυτών και ξυλείας, απομεινάρια από την επεξεργασία ξύλου, γεωργικά και βιομηχανικά υπολείμματα, απορρίμματα χαρτιού, αστικά στερεά απόβλητα, πριονίδι, χορτάρι, απόβλητα από την επεξεργασία τροφίμων, απόβλητα ζώων καθώς και θαλάσσια φυτά όπως η άλγη.

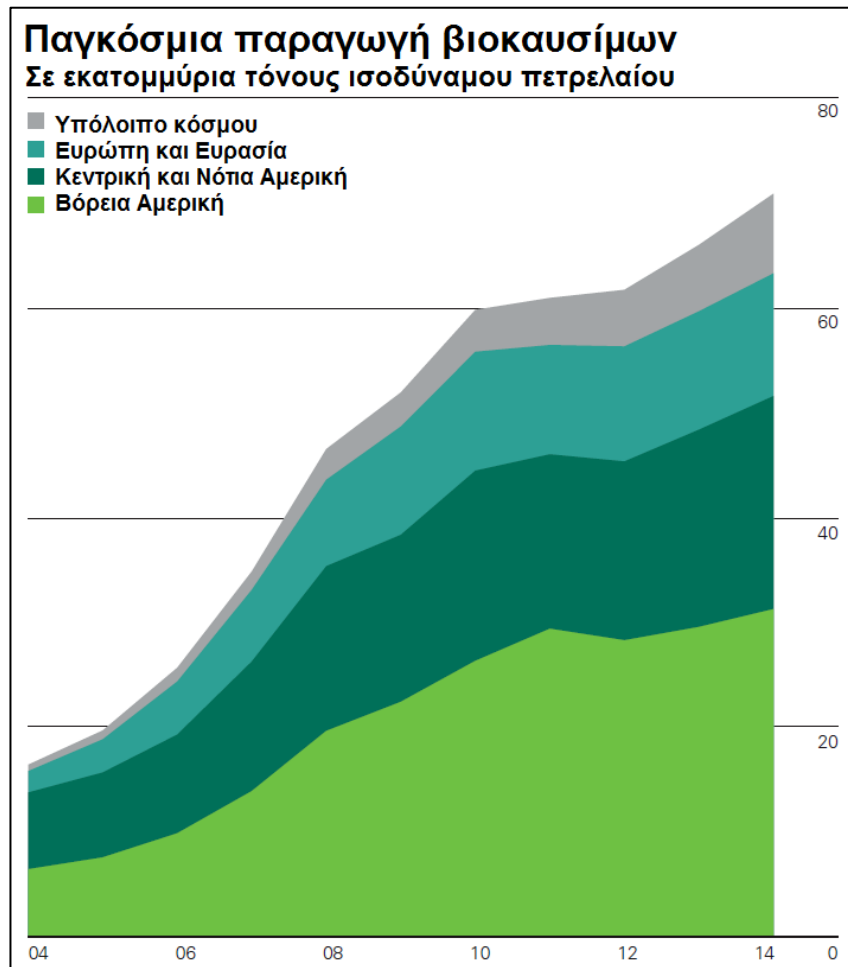
Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού αλλά κυρίως αποτελεί την πηγή παραγωγής βιοκαυσίμων. Τα βιοκαύσιμα είναι εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές εσωτερικής καύσης χάρη στις μεγάλες δυνατότητές τους.

Τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων έναντι των συμβατικών είναι τα παρακάτω:

- Είναι ανανεώσιμα με επιπλέον πλεονέκτημα τις μειωμένες εκπομπές αέριων ρύπων (μονοξειδίο και διοξειδίο του άνθρακα, οξειδία του αζώτου, αιθάλη και άκαυστοι υδρογονάνθρακες) όπως παρατηρείται από ερευνητές και διεθνείς οργανισμούς [5-10]. Το τελευταίο είναι αρκετά σημαντικό καθώς ένα μεγάλο ποσοστό και συγκεκριμένα 21% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών [4].
- Έχουν «θετικό» κύκλο CO₂ (η ανάλυση κύκλου ζωής/life cycle analysis έδειξε μείωση του CO₂ κατά τουλάχιστον 50%).
- Η καλλιέργεια βιοκαυσίμων ενισχύει τις τοπικές αγροτικές κοινωνίες [8].
- Μειώνει την εξάρτηση των χωρών από την εισαγωγή πετρελαίου [8].
- Συμβάλλουν στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας, καθώς τα βιοκαύσιμα είναι πολύ πιο ομοιόμορφα κατανομημένα από τα συμβατικά.

Στην κατηγορία των βιοκαυσίμων εντάσσονται οι βιο-αλκοόλες όπως η βιο-αιθανόλη και η βιο-βουτανόλη, οι υδρογονάνθρακες προερχόμενοι από βιομάζα, το υδρογόνο καθώς και τα φυτικά έλαια και το παραγόμενο από αυτά βιοντίζελ. Τα περισσότερα από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε καθαρά είτε ως μίγματα με το κανονικό πετρέλαιο (ή τη βενζίνη) σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Τα κυριότερα πάντως από τα παραπάνω βιοκαύσιμα είναι η βιο-αιθανόλη, της οποίας οι ιδιότητες προσεγγίζουν αυτές της βενζίνης, και το βιοντίζελ, του οποίου οι ιδιότητες προσεγγίζουν αυτές του πετρελαίου.

Λόγω των πλεονεκτημάτων, που αναφέρθηκαν και παραπάνω, των βιοκαυσίμων υπέρ των συμβατικών καυσίμων, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλη αύξηση στην παραγωγή τους σε όλο τον κόσμο. Συγκεκριμένα η παραγωγή βιοκαυσίμων (χωρίς τα φυτικά έλαια) έφθασε τα 71 εκατομμύρια τόνους κατά το 2014 ενώ μια δεκαετία πριν βρισκόταν κάτω από τους 20 εκατομμύρια τόνους [11]. Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται η κατανομή της παραγωγής βιοκαυσίμων ανά τον κόσμο.



Σχήμα 1.7. Η παγκόσμια παραγωγή βιοκαυσίμων την τελευταία δεκαετία χωρισμένη σε περιοχές (Βόρεια Αμερική, Νότια και Κεντρική Αμερική, Ευρώπη και Ευρασία) [11].

Αναλυτικότερα για κάθε βιοκαύσιμο ξεχωριστά, η παραγωγή αιθανόλης από περίπου 15 εκατομμύρια τόνους το 2004 έχει φτάσει τα 50 εκατομμύρια τόνους ενώ το βιοντίζελ από μηδενική παραγωγή το 1990 έφτασε τους 3 εκατομμύρια τόνους το 2004 και περίπου τους 20 μία δεκαετία μετά [4,11]. Αντίστοιχα και στα φυτικά έλαια, λόγω της χρήσης τους σαν τρόφιμα αλλά και λόγω της σύνδεσης που έχουν με το βιοντίζελ,

έχει παρατηρηθεί μεγάλη αύξηση στην παραγωγή τους, με αυτήν να φτάνει τους 176 εκατομμύρια τόνους το 2015 [12].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είχε δείξει ενδιαφέρον στον τομέα των βιοκαυσίμων, με στόχο τη μείωση κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων, θεσπίζοντας τις νομοθεσίες 2003/30/EC και 2003/96/EC που ίσχυαν από το 2003 ενώ προχώρησε σε κάποιες μεταρρυθμίσεις με την οδηγία του 2009, την 2009/28/EC [4]. Τωρινός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι μέχρι το 2020 το 10% των καυσίμων που χρησιμοποιείται στις μεταφορές κάθε χώρας-μέλους να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα βιοκαύσιμα [13].

Παρ' όλα τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων βέβαια υπάρχουν και κάποιες ανησυχίες από τη διεθνή κοινότητα όσον αφορά τη χρήση τους. Βασικός κίνδυνος αποτελεί η αποψίλωση εκτάσεων με σκοπό την καλλιέργεια πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων το οποίο έχει αρνητικό αντίκτυπο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς η αποδάσωση συνήθως αποδεσμεύει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και ουσιαστικά δεν υπάρχει κανένα κέρδος από την χρήση των βιοκαυσίμων [14]. Επίσης η αλλαγή καλλιεργειών βρώσιμων φυτών, σε φυτά που χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοκαυσίμων, αφήνει λιγότερες διαθέσιμες εκτάσεις για την παραγωγή γεωργικών τροφίμων με αποτέλεσμα οι τιμές σε αρκετά είδη τροφίμων να αυξάνονται, πράγμα ανεπιθύμητο για αρκετές αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και γενικά για τον πλανήτη [4].

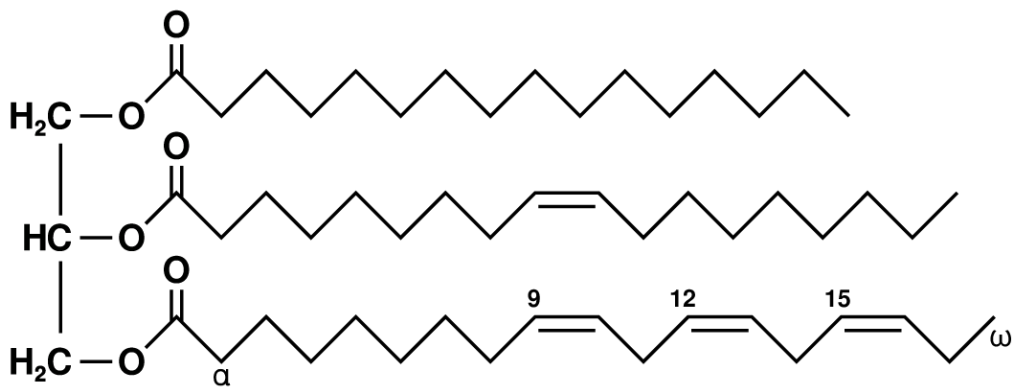
Σαν τελευταίο μειονέκτημα θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε και την αβεβαιότητα που υπάρχει ως προς το κατά πόσο πληροί τα διεθνή πρότυπα ποιότητας ένα βιοκαύσιμο πριν την παραγωγή του, καθώς διαφορετική σύσταση της βιομάζας (π.χ. διαφορετικό είδος φυτού, διαφορετικές συνθήκες στις οποίες καλλιεργήθηκε) από την οποία προέρχεται ένα βιοκαύσιμο οδηγεί σε διαφορετικές ιδιότητες. Γι' αυτό το λόγο γίνονται προσπάθειες από ερευνητές [15,16], συμπεριλαμβανομένου και του Εργαστηρίου Μ.Ε.Κ. του Ε.Μ.Π. [1], με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης που έχει η σύσταση της βιομάζας στο τελικό καύσιμο ή την εύρεση των μέσων τιμών κάποιων φυσικο-χημικών ιδιοτήτων βιοκαυσίμων ανάλογα με την πρώτη ύλη από την οποία προέρχονται. Παρόμοιο σκοπό έχει και η παρούσα διπλωματική με επίκεντρο τα φυτικά έλαια και τις ιδιότητές τους.

2. ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

2.1. Γενικά

Ως φυτικό έλαιο (vegetable oil) ορίζεται το υγρό που προέρχεται από τα μέρη ενός φυτού. Τα φυτικά έλαια είναι συνήθως αδιάλυτες στο νερό ουσίες και αποτελούνται κατά κύριο λόγο από λιπίδια και πιο συγκεκριμένα τριγλυκερίδια, δηλαδή 3 εστέρες καρβοξυλικών οξέων μακράς αλυσίδας ($R-C(=O)-O-H$), τα λεγόμενα και λιπαρά οξέα, συνδυασμένων με γλυκερίνη όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Τα τριγλυκερίδια διαφέρουν μεταξύ τους και αυτή η διαφορά έγκειται στην φύση των λιπαρών οξέων που είναι συνδεδεμένα με την γλυκερίνη ενώ και οι αναλογίες των λιπαρών οξέων διαφέρουν από έλαιο σε έλαιο.

Τα φυτικά έλαια ανήκουν στην γενικότερη κατηγορία των βιοκαυσίμων και γενικά μοιράζονται τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με αυτά. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον όσον αφορά τις δυνατότητες που έχουν ως καύσιμο σε κινητήρες ντίζελ [17].



Σχήμα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση ενός τριγλυκεριδίου. Στα αριστερά φαίνεται η γλυκερίνη και στα δεξιά ως αλυσίδες τα 3 λιπαρά οξέα.

Το ενδιαφέρον προς τα φυτικά έλαια πάντως δεν είναι τωρινό καθώς, όπως είναι γνωστό ακόμα και από την καθημερινότητα μας, αυτά χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια με τις χρήσεις τους να ποικίλουν. Οι πιο συνηθισμένες είναι :

- Μαγειρική. Πολλά φυτικά έλαια είναι βρώσιμα και είτε καταναλώνονται κατευθείαν είτε χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στα τρόφιμα. Επιπλέον, ορισμένα από αυτά, και ειδικότερα αυτά που έχουν υψηλό σημείο ανάφλεξης, όπως το ηλιέλαιο, χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα άλλων φαγητών.
- Βιομηχανία. Πολλά προϊόντα απαιτούν σαν συστατικό τα φυτικά έλαια για να παραχθούν. Προϊόντα όπως σαπούνια, κρέμες δέρματος, αρώματα, χρώματα, βερνίκια και λιπαντικά έχουν σαν βάση διάφορα φυτικά έλαια.
- Καύσιμο / Παραγωγή Βιοντίζελ. Τα φυτικά έλαια μέσω της χημικής διαδικασίας της μετεστεροποίησης/trans-εστεροποίησης (transesterification) μετατρέπονται σε βιοντίζελ. Επίσης, τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μόνα τους ως καύσιμο σε Μ.Ε.Κ. (σε μικρές αναλογίες) αλλά τότε απαιτούνται ειδικές τροποποιήσεις στον κινητήρα.

Παρ' ότι διάφορα μέρη ενός φυτού είναι ικανά να παράξουν έλαιο, κατά κύριο λόγο η παραγωγή των φυτικών ελαίων γίνεται από τους καρπούς καθώς συνήθως περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό ελαίου σε σχέση με τα υπόλοιπα μέρη ενός φυτού. Οι συνηθέστεροι τρόποι εξαγωγής του ελαίου από τους καρπούς είναι δύο ενώ μπορεί να γίνει και συνδυασμός τους.

- Μηχανική εξαγωγή. Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται κοχλιοπρέσες (Εικόνα 2.1) και άλλα είδη πρεσών με σκοπό την έκθλιψη του καρπού και συνεπώς την εξαγωγή του ελαίου. Γίνεται χρήση της κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους αλλά το ποσοστό του ελαίου που εξάγεται είναι αρκετά χαμηλό και εξαρτάται από το είδος της πρέσας που χρησιμοποιήθηκε για την διεργασία.



Εικόνα 2.1. Κοχλιοπρέσες για εξαγωγή φυτικών ελαίων από καρπούς.

- Χημική εξαγωγή με διαλύτη. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως από βιομηχανίες καθώς έχει μεγαλύτερη απόδοση όσον αφορά την ποσότητα του ελαίου που αποδίδει ο καρπός και είναι ταχύτερη. Ο συνηθέστερος διαλύτης είναι το εξάνιο ενώ σαν εναλλακτική, μη τοξική, λύση χρησιμοποιείται υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα.

Τα φυτικά έλαια με την μεγαλύτερη παραγωγή παγκοσμίως κατά το 2015 είναι το φοινικέλαιο με 69 εκατομμύρια τόνους, ακολουθεί το σογιέλαιο με 48,5 εκατομμύρια τόνους, έπειτα το κραμβέλαιο με 27 εκατομμύρια τόνους και στη συνέχεια το ηλιέλαιο με 15 εκατομμύρια τόνους. Με μικρότερα ποσά ακολουθούν το φυστικέλαιο, το βαμβακέλαιο και το κοκκοφοινικέλαιο. Μεγαλύτερος παραγωγός φυτικών ελαίων στον κόσμο είναι η Ινδονησία με 38 εκατομμύρια τόνους κατά το 2015, και ακολουθούν η Κίνα με 24 εκατομμύρια τόνους, η Μαλαισία με 22, η Ευρωπαϊκή Ένωση με 18, οι Η.Π.Α. με 11, η Αργεντινή και Βραζιλία με 8 εκατομμύρια τόνους έκαστη ενώ το υπόλοιπο του κόσμου αθροιστικά παράγει 45,5 εκατομμύρια τόνους [12].

2.2. Φυσικο-χημικές ιδιότητες φυτικών ελαίων

Η σύσταση σε λιπαρά οξέα είναι αυτή που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες κάθε ελαίου. Αυτό συμβαίνει διότι αφενός μεν τα διάφορα λιπαρά οξέα έχουν διαφορετικό αριθμό ατόμων άνθρακα αφετέρου δε άλλα λιπαρά οξέα είναι κορεσμένα, δηλαδή καθ' όλο το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας τα άτομα άνθρακα ενώνονται με μονούς δεσμούς, και άλλα είναι ακόρεστα, δηλαδή κάποια άτομα άνθρακα στην ανθρακική αλυσίδα ενώνονται με διπλούς ή και τριπλούς δεσμούς, πράγμα που έχει αντίκτυπο στην μορφή του μορίου. Μερικά από τα πιο συνηθισμένα κορεσμένα λιπαρά οξέα στα φυτικά έλαια είναι το παλμιτικό οξύ (C16:0) και το στεαρικό οξύ (C18:0) ενώ τα πιο συνηθισμένα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι το ολεϊκό (C18:1) και το λινολεϊκό (18:3). Ο συμβολισμός των λιπαρών οξέων στις παρενθέσεις έχει να κάνει με το πόσα άτομα άνθρακα έχει η ανθρακική αλυσίδα (πρώτος αριθμός) και πόσοι διπλοί δεσμοί υπάρχουν στο μόριο (δεύτερος αριθμός).

Οι ιδιότητες των φυτικών ελαίων που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι οι παρακάτω :

- 1) **Πυκνότητα (Density)** : Εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου. Ουσιαστικά δείχνει το πόσο αραιά ή πόσο πυκνά είναι στοιχισμένα τα μόρια μιας ουσίας. Μονάδα μέτρησης είναι το kg/m^3 . Με δεδομένο ότι τα συστήματα έγχυσης των Μ.Ε.Κ. λειτουργούν σε ογκομετρικό επίπεδο, χρήση καυσίμου μεγαλύτερης πυκνότητας (σε κινητήρα σχεδιασμένο

για πετρέλαιο) συνεπάγεται τελικά αύξηση του εγχυόμενου καυσίμου άρα μείωση του λόγου ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου.

- 2) Κινηματική συνεκτικότητα (Kinematic viscosity) : Εκφράζει την αντίσταση ενός υγρού σε παραμόρφωση ή αλλιώς είναι ένα μετρό της ρευστότητας ενός υγρού. Όσο μικρότερη η συνεκτικότητα ενός ελαίου τόσο πιο εύκολη η ροή του. Σαν τύπος η κινηματική συνεκτικότητα ορίζεται ως ο συντελεστής ιξώδους διαιρεμένος με την πυκνότητα. Μονάδα μέτρησης είναι το m^2/s . Μεγάλες τιμές της κινηματικής συνεκτικότητας οδηγούν σε δυσκολία σταγονοποίησης άρα και εξάτμισης του καυσίμου εντός του θαλάμου καύσης.
- 3) Θερμογόνο δύναμη (Heating value) : Είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ενός κιλού καυσίμου υπό κανονικές συνθήκες (θερμοκρασία $0^{\circ}C$ και πίεση μίας ατμόσφαιρας). Διακρίνεται σε κατώτερη (lower heating value/LHV) και ανώτερη (higher heating value/HHV) θερμογόνο δύναμη. Η διαφορά έγκειται στο ότι η κατώτερη θερμογόνο δύναμη αναφέρεται στην περίπτωση κατά την οποία όλος ο υδρατμός του καυσαερίου βρίσκεται σε αέρια μορφή ενώ η ανώτερη όταν ο υδρατμός του καυσαερίου βρίσκεται σε υγρή κατάσταση δηλαδή δεν έχει απορροφήσει ενέργεια. Μονάδα μέτρησης το kJ/kg . Με δεδομένο ότι όλα τα βιοκαύσιμα εξ ορισμού έχουν χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη από το πετρέλαιο (λόγω ύπαρξης οξυγόνου στο μόριο του καυσίμου), απαιτείται έγχυση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου για την παραγωγή ίδιας ενέργειας.
- 4) Αριθμός κετανίου (Cetane number) : Είναι ένδειξη του πόσο εύκολα ξεκινάει η ανάφλεξη ενός καυσίμου υπό τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα θάλαμο καύσης ντιζελοκινητήρα.
- 5) Αριθμός ιωδίου (Iodine number) : Είναι η μάζα ιωδίου σε γραμμάρια που απορροφάται από 100 γραμμάρια μιας ουσίας. Συνήθως είναι δείγμα της ακορεστότητας των λιπαρών οξέων, καθώς το ιώδιο έχει την τάση να αντιδρά με άτομα άνθρακα που συνδέονται με διπλούς δεσμούς. Άρα, όσο περισσότερο ιώδιο απορροφηθεί τόσο πιο πολλοί διπλοί δεσμοί υπάρχουν και άρα τόσο μεγαλύτερο βαθμό ακορεστότητας έχει μια ουσία.
- 6) Σημείο ανάφλεξης (Flash point) : Αναφέρεται μόνο για υγρά καύσιμα και είναι η θερμοκρασία κατά την οποία το υγρό καύσιμο μετατρέπεται σε ατμό ικανό να αναφλεγεί όταν έρθει σε επαφή με φλόγα ή σπινθήρα. Αποτελεί δείγμα ασφάλειας αποθήκευσης.

- 7) Σημείο θόλωσης (Cloud point) : Είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία το κερι (ή άλλες στερεές ενώσεις) που περιέχεται στο καύσιμο αρχίζει να κρυσταλλώνει και το διάλυμα αρχίζει να θολώνει. Δεδομένου ότι οι στερεοποιημένες ουσίες έχουν την τάση να αυξάνουν το ιξώδες ενός ρευστού και να επικάθονται σε εσοχές και φίλτρα, το σημείο θόλωσης είναι ένα μέτρο της συμπεριφοράς του υγρού σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- 8) Σημείο απόχυσης (Pour point) : Είναι η θερμοκρασία κατά την οποία ένα υγρό γίνεται ημιστερεό και χάνει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του. Είναι πάντα μικρότερη από τη θερμοκρασία θόλωσης.
- 9) Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (Cold filter plugging point/CFPP) : Είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου κατά την οποία ένα καύσιμο μπορεί να περάσει μέσα από το φίλτρο σωματιδίων ενός οχήματος.
- 10) Περιεκτικότητα σε άνθρακα : Είναι η επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα της ουσίας σε άνθρακα.
- 11) Περιεκτικότητα σε υδρογόνο : Είναι η επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα της ουσίας σε υδρογόνο.
- 12) Περιεκτικότητα σε οξυγόνο : Είναι η επί τοις εκατό κατά βάρος περιεκτικότητα της ουσίας σε οξυγόνο.
- 13) Οξειδωτική σταθερότητα (Oxidative stability) : Επειδή τα λιπαρά οξέα, και ειδικά τα ακόρεστα, έχουν την τάση να αντιδρούν με το οξυγόνο με αποτέλεσμα το σχηματισμό ανεπιθύμητων ουσιών στο καύσιμο, είναι καλό να αποφεύγεται η μακροχρόνια αποθήκευση τους χωρίς τη χρήση αντιοξειδωτικών. Η οξειδωτική σταθερότητα είναι ένα μέτρο της αντίστασης του καυσίμου/ελαίου σε αυτήν την οξείδωση. Μονάδα μέτρησης είναι οι ώρες (hours).
- 14) Οξύτητα (Acidity/Acid number) : Είναι η μάζα, σε χιλιοστά του γραμμαρίου (mg), καυστικού καλίου (KOH) που απαιτείται για να εξουδετερώσει 1 γραμμάριο μιας ουσίας. Συγκεκριμένα για τα έλαια/βιοντίζελ, η οξύτητα είναι ένα μέτρο της περιεκτικότητας σε λιπαρά οξέα.
- 15) Μοριακό βάρος (Molecular weight) : Αποτελεί την μάζα ενός μορίου. Υπολογίζεται ως το άθροισμα της μάζας κάθε ατόμου που εμφανίζεται στο μόριο πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό των ατόμων που εμφανίζονται σε αυτό.

2.3. Χρήση των φυτικών ελαίων ως καύσιμο. Συσχετισμός με βιοντίζελ

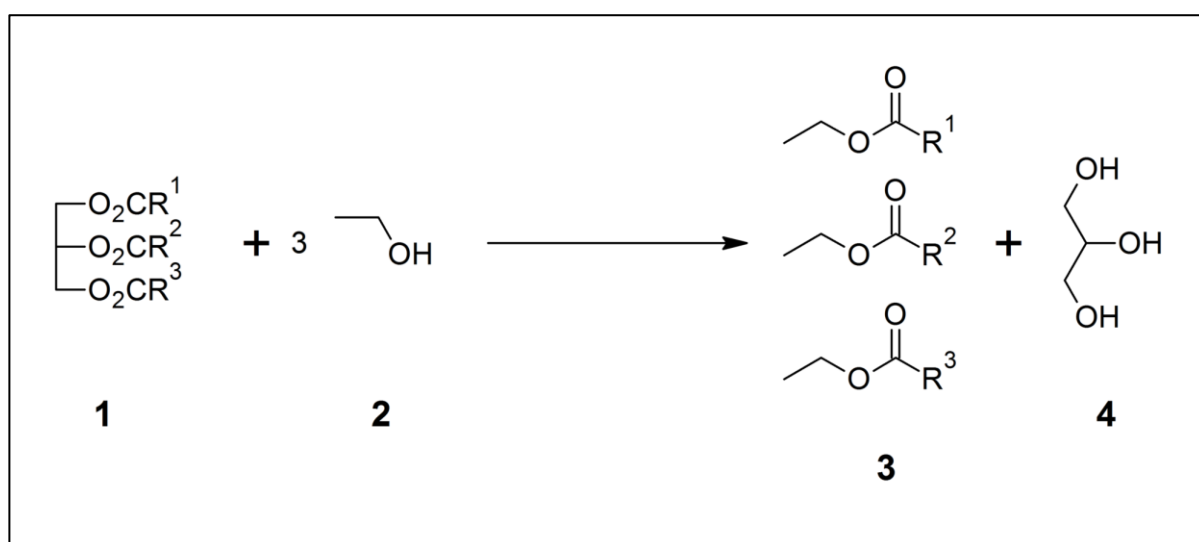
Η πρώτη χρήση των φυτικών ελαίων ως καύσιμο μπορεί να χρονολογηθεί στην Διεθνή Έκθεση του 1911 στο Παρίσι όταν ο ίδιος ο Rudolph Diesel, ο εφευρέτης του πρώτου ντιζελοκινητήρα, χρησιμοποίησε φυστικέλαιο σαν καύσιμο για τη μηχανή του. Η επόμενη σημαντική στιγμή είναι τον Αύγουστο του 1982 όταν πραγματοποιήθηκε το πρώτο διεθνές συνέδριο για την χρήση φυτών και φυτικών ελαίων ως καύσιμα (International Conference on Plant and Vegetable Oils as fuels), με θέματα συζήτησης την παραγωγή και εξαγωγή των ελαίων, το κόστος του καυσίμου, τις επιπτώσεις στην απόδοση του κινητήρα, την αντοχή και προετοιμασία του καυσίμου καθώς και τα πρότυπα ποιότητας [17].

Τα πλεονεκτήματα των φυτικών ελαίων ως καύσιμα μπορούν να αναλυθούν με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν είναι υγρά στην πλειοψηφία τους κάτι που κάνει εύκολη τη μεταφορά τους και διαχείριση τους, είναι άμεσα διαθέσιμα χωρίς να χρειάζονται επεξεργασία, είναι ανανεώσιμα και προερχόμενα από φυτικές πηγές, είναι μη τοξικά, έχουν μεγάλη θερμογόνο ικανότητα (περίπου 88% του κανονικού ντίζελ), έχουν μικρή περιεκτικότητα σε θείο συνεπώς αποφεύγονται μεγάλες συγκεντρώσεις θειικών ενώσεων στα καυσαέρια, περιέχουν λιγότερους αρωματικούς υδρογονάνθρακες (συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου όταν απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω των καυσαερίων) από το συμβατικό ντίζελ, και είναι βιοδιασπώμενα [17].

Τα μειονεκτήματα τους βέβαια είναι εξίσου σημαντικά και σχετίζονται με την υψηλή συνεκτικότητα που έχουν, την μικρή ικανότητα τους να εξατμίζονται, τις κακές ιδιότητες που αποκτούν σε χαμηλές θερμοκρασίες και την δραστικότητα των ακόρεστων λιπαρών οξέων. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά οδηγούν σε προβλήματα και μειωμένο χρόνο ζωής μετά από μακροχρόνια χρήση των ελαίων σε κινητήρες καθώς παρατηρείται φράξιμο των μπεκ έγχυσης του καυσίμου, επικαθίσεις άνθρακα στο θάλαμο καύσης και αλλοίωση του λιπαντικού λαδιού λόγω πρόσμιξης του με το φυτικό έλαιο. Έχουν προταθεί λύσεις με σκοπό την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, όπως προθέρμανση του φυτικού ελαίου πριν την έγχυση του, πρόσμιξή του με μικρής αλκυλικής αλυσίδας αλκοόλες όπως η αιθανόλη ή μεθανόλη, αραίωσή του με κανονικό ντίζελ και πυρόλυση του με σκοπό την δημιουργία αλκανίων,

αλκενίων και κυκλοαλκανίων. Παρ' ότι η απόδοση του κινητήρα βελτιώνεται με τις παραπάνω τεχνικές, η χρήση τους κρίνεται μη ικανοποιητική [8,17,18].

Μια εναλλακτική που έχει αποδειχθεί η καλύτερη κατά την πάροδο των χρόνων είναι το βιοντίζελ, ένα βιοκαύσιμο που παράγεται από τα φυτικά έλαια μέσω της διαδικασίας της μετεστεροποίησης (transesterification) όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3. Ουσιαστικά ένα τριγλυκερίδιο {1} αντιδρά με μια μονοσθενή αλκοόλη {2} όπως η μεθανόλη (ή η αιθανόλη) για να δώσει μεθυλεστέρες {3} (ή αιθυλεστέρες, ανάλογα με ποια αλκοόλη έχει γίνει η αντίδραση) και γλυκερίνη {4}. Η αντίδραση είναι αμφίδρομη οπότε απαιτείται περίσσεια αλκοόλης για την πλήρη μετατροπή των τριγλυκεριδίων σε μεθυλεστέρες ενώ σαν καταλύτης αντίδρασης χρησιμοποιείται κάποια ισχυρή βάση συνήθως καυστικό νάτριο (NaOH) ή καυστικό κάλιο (KOH). Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι παραγωγής βιοντίζελ όπως η υπερκρίσιμη μέθοδος όπου χρησιμοποιείται υπερκρίσιμη μεθανόλη και δεν απαιτείται η χρήση καταλύτη [4,17,19].



Σχήμα 2.2. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της μετεστεροποίησης.

Το βιοντίζελ θεωρείται καλύτερο καύσιμο για κινητήρες ντίζελ καθώς οι ιδιότητές του είναι πολύ πιο κοντά σε αυτές του συμβατικού ντίζελ από ότι αυτές των φυτικών ελαίων με αποτέλεσμα να μην προκαλούνται προβλήματα στον κινητήρα και η λειτουργία να είναι πιο ομαλή, με αξιοπρεπείς επιδόσεις και χαμηλές εκπομπές ρύπων. Παρ' όλα αυτά, όπως και στα φυτικά έλαια, η ποιότητα του βιοντίζελ (συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες, CFPP) επηρεάζεται από την πρώτη ύλη από την οποία παράγεται. Γι' αυτό το λόγο έχουν θεσμοθετηθεί διάφορα πρότυπα ποιότητας όπως στην Ευρωπαϊκή Ένωση το EN14214 και στην Αμερική το ASTM

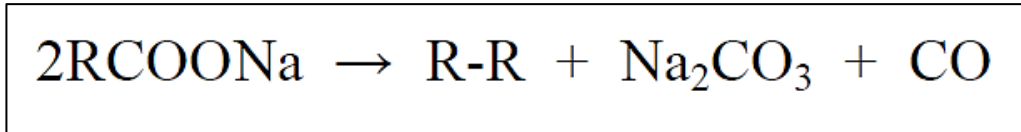
D6751 προκειμένου κάθε ποσότητα βιοντίζελ που παράγεται να συμφωνεί με τις προδιαγραφές. Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται κάποια από τα πρότυπα ποιότητας που έχουν θεσμοθετηθεί [4,17,18].

Πίνακας 2.1. Πρότυπα ποιότητας βιοντίζελ, πετρελαίου και άλλων καυσίμων.

	Βιοντίζελ ASTM D6751	Βιοντίζελ EN 14214	Ελαφρύ πετρέλαιο EN 590	Ναυτικό πετρέλαιο ISO 8217 DMB	Βαρύ πετρέλαιο λεβήτων ISO 8217 RM
Πυκνότητα/15°C (kg/m ³)	-	860-890	820-845	< 900	975-1010
Συνεκτικότητα/40°C (cSt)	1,9-6	3,5-6,2	2-4,5	< 11	< 700 (50°C)
Αριθμός κετανίου	> 47	46-65	> 51	> 35	> 20
Περιεκτικότητα σε θειό (ppm)	< 15	< 10	< 50	< 20.000	< 50.000
Θερμογόνος δύναμη (κατώτερη) (kJ/kg)	-	37.500- 41.500	~43.000	~42.000	~40.000

2.4. Παραγωγή άλλων καυσίμων από φυτικά έλαια

Κάποιες καινούριες τεχνικές αναφέρουν την πυρόλυση των φυτικών ελαίων για παραγωγή καυσίμων με υψηλό περιεχόμενο σε υδρογονάνθρακες. Με τον όρο πυρόλυση εννοούμε την θερμική αποικοδόμηση των καρβοξυλικών οξέων μακριάς αλυσίδας. Η διαδικασία αυτή απαιτεί πρώτα την δημιουργία σαπουνιών από φυτικά έλαια και ύστερα την πυρόλυση αυτών με παρουσία καταλύτη (συνήθως ανθρακικό νάτριο Na₂CO₃ ή χλωριούχο ψευδάργυρο ZnCl₂) για τη δημιουργία υδρογονανθράκων. Μια τέτοια αντίδραση δίνεται στο Σχήμα 2.3. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή καυσίμου που μοιάζει εξαιρετικά στη βενζίνη, καθώς περιέχει μικρής αλυσίδας υδρογονάνθρακες.

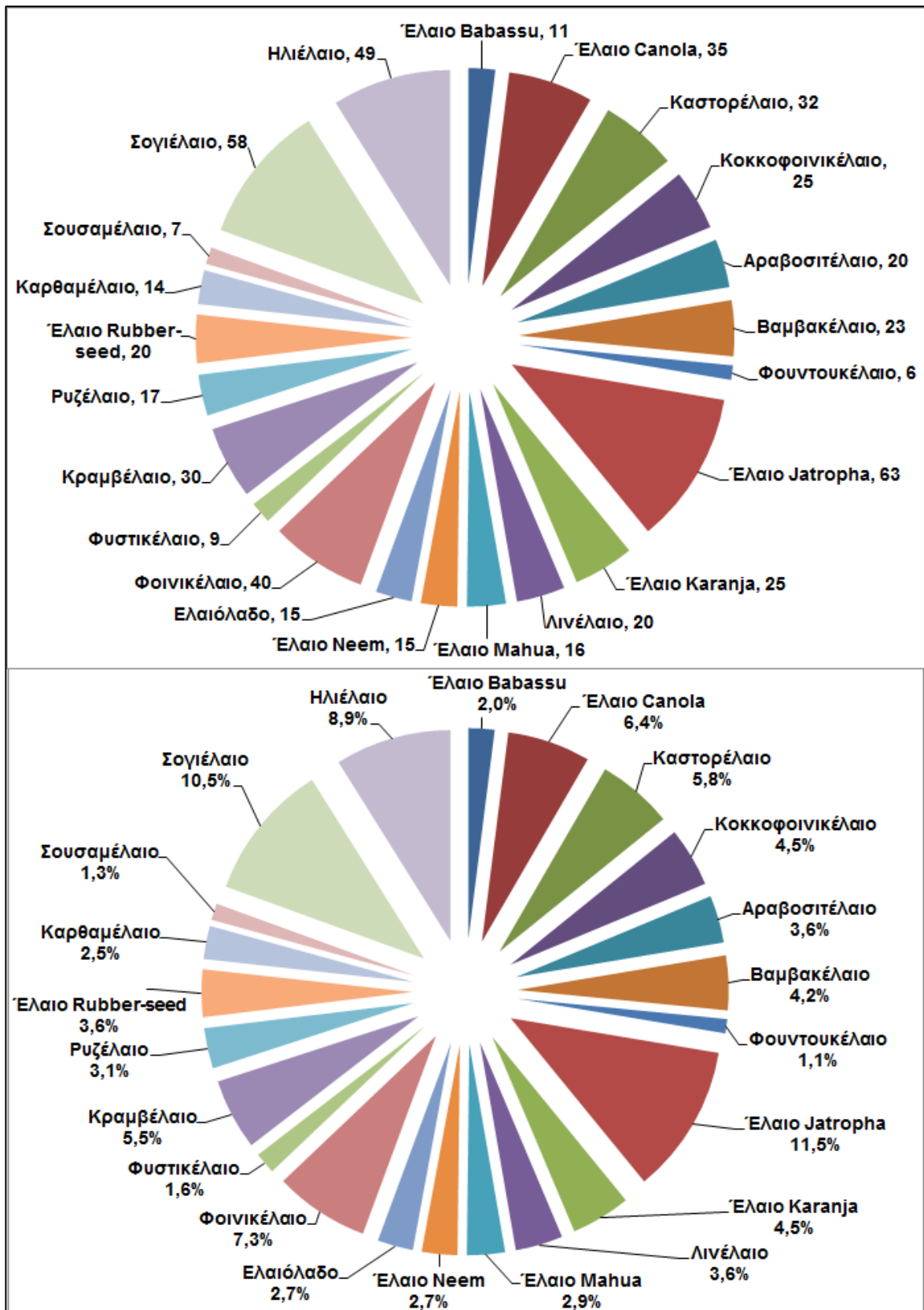


Σχήμα 2.3. Αντίδραση πυρόλυσης

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση στις φυσικο-χημικές ιδιότητες διάφορων φυτικών ελαίων έγινε εκτενής έρευνα στις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες των εκδοτικών οίκων Elsevier (Science Direct), Springer, Taylor and Francis και IEEE με σκοπό την συγκέντρωση επιστημονικών άρθρων σχετικών με το αντικείμενο προς εξέταση. Από την παραπάνω έρευνα συλλέχθηκαν περίπου 550 άρθρα, όλα δημοσιευμένα την τελευταία 30ετία, με στοιχεία για περισσότερα από 25 διαφορετικά φυτικά έλαια.

Τελικά επιλέχθηκε να γίνει στατιστική ανάλυση για 22 φυτικά έλαια (έλαιο Babassu, έλαιο Canola, καστορέλαιο, κοκκοφοινικέλαιο, αραβοσιτέλαιο, βαμβακέλαιο, φουντουκέλαιο, έλαιο Jatropha, έλαιο Karanja, λινέλαιο, έλαιο Mahua, έλαιο Neem, ελαιόλαδο, φοινικέλαιο, φυστικέλαιο, κραμβέλαιο, ρυζέλαιο, έλαιο Rubber-seed, καρθαμέλαιο, σουσαμέλαιο, σογιέλαιο, ηλιέλαιο) ενώ τα υπόλοιπα (όπως έλαιο Jojoba, σταφυλέλαιο, έλαιο Polanga) απορρίφθηκαν λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων. Στο Σχήμα 2 φαίνεται ο αριθμός εμφανίσεων (πάνω διάγραμμα) και το ποσοστό εμφάνισης (κάτω διάγραμμα) του κάθε ελαίου στο σύνολο των δεδομένων που συλλέχθηκαν.



Σχήμα 3.1. Αριθμός εμφανίσεων (πάνω διάγραμμα) και ποσοστό εμφάνισης (κάτω διάγραμμα) του κάθε ελαίου στο σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία.

Παρατηρούμε από το Σχήμα 2 πως το πιο διαδεδομένο έλαιο στις επιστημονικές έρευνες είναι το έλαιο *Jatropha* (11,5% με 63 εμφανίσεις) που δεν είναι βρώσιμο και θεωρείται πολύ καλή πρώτη ύλη για παραγωγή βιοντίζελ, και τα τελευταία χρόνια εξετάζεται αρκετά στην Ινδία όπου και ευδοκimei. Αμέσως μετά έπεται το έλαιο *Canola* μαζί με το συναφές κραμβέλαιο ($6,4+5,5=11,9\%$) που είναι και ένα από τα 4 μεγαλύτερα σε παραγωγή φυτικά έλαια ανά τον κόσμο (όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1.2) ενώ τα υπόλοιπα 3, δηλαδή το σογιέλαιο (10,5%), το ηλιέλαιο (8,9%) και το φοινικέλαιο (7,3%), ακολουθούν. Στη συνέχεια έχουμε το καστορέλαιο (5,8%), το κοκκοφοινικέλαιο και το έλαιο *Karanja* με ίδιο ποσοστό (4,5%) και το βαμβακέλαιο με 4,2% (κυρίως στις μεσογειακές χώρες). Με ίδια ποσοστά εμφανίσεων έχουμε επίσης και τα αραβοσιτέλαιο, λινέλαιο και έλαιο *Rubber-seed* (3,6%) και ακολουθεί το ρυζέλαιο με 3,1%. Πιο κάτω βρίσκουμε το έλαιο *Mahua* (2,9%), το έλαιο *Neem* και το ελαιόλαδο με ίδιο ποσοστό (2,7%), το καρθαμέλαιο (2,5%) και το έλαιο *Babassu* (2%). Με μικρότερα ποσοστά έχουμε το φυσικέλαιο με 1,6%, το σουσαμέλαιο με 1,3% και τελικά το φουντουκέλαιο με 1,1%.

Σε παρεμφερή έρευνα του 2012 στο Εργαστήριο Μ.Ε.Κ. του Ε.Μ.Π. που είχε επίκεντρο το βιοντίζελ [1], τα ποσοστά εμφάνισης αναφορών για τα διάφορα είδη βιοντίζελ είναι αρκετά κοντά σε αυτά που παρατηρήθηκαν κατά την παρούσα διπλωματική εργασία για τα φυτικά έλαια με μόνες εξαιρέσεις το σογιέλαιο (εκεί καταλάμβανε το 18,1% με 172 εμφανίσεις) και το έλαιο *Jatropha* (6,9% εκεί, αλλά με παρόμοιο αριθμό εμφανίσεων που έφτανε τις 66).

Κατά την συλλογή δεδομένων από τα διάφορα επιστημονικά άρθρα, δόθηκε μεγάλη σημασία στην αποφυγή διπλότυπων καταχωρήσεων, όπως επίσης και μόνο την καταχώρηση τιμών που είχαν μετρηθεί από τους ίδιους τους ερευνητές ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα ποιότητας χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τιμές που προέρχονταν από παραπομπές. Παρ' ότι αρχικός σκοπός ήταν να ληφθούν υπόψη όλες οι τιμές που βρέθηκαν μετά την εφαρμογή των παραπάνω δύο κανόνων, κρίθηκε αναγκαία η αφαίρεση κάποιων από αυτών από το σύνολο των δεδομένων καθώς εμφάνιζαν μεγάλη απόκλιση από τις τιμές που ανέφεραν οι υπόλοιποι ερευνητές. Παρ' όλα αυτά, αν περισσότεροι από 2 ξεχωριστοί ερευνητές ανέφεραν τέτοιες ακραίες μετρημένες τιμές, τότε συμπεριλαμβάνονταν κανονικά. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στις μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν για κάποιες ιδιότητες, όπως θα φανεί και παρακάτω στην ανάλυση των δεδομένων. Επίσης, αποφασίστηκε να καταχωρηθούν τιμές πυκνότητας και κινηματικής συνεκτικότητας που είχαν μετρηθεί

μόνο στους 15°C και 40°C αντίστοιχα (πρόκειται για θερμοκρασίες που είναι γενικά αποδεκτές για την μέτρηση των παραπάνω ιδιοτήτων) καθώς πρόκειται για δύο μεγέθη που μεταβάλλονται με την θερμοκρασία.

Τελικά προέκυψαν δεδομένα για 16 φυσικο-χημικές ιδιότητες φυτικών ελαίων που είναι οι παρακάτω :

- πυκνότητα
- κινηματική συνεκτικότητα
- κατώτερη θερμογόνος δύναμη και ανώτερη θερμογόνος δύναμη
- αριθμός κετανίου
- αριθμός ιωδίου
- σημείο ανάφλεξης
- σημείο απόχυσης
- σημείο θόλωσης
- σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου
- περιεκτικότητα σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο
- οξειδωτική σταθερότητα
- οξύτητα
- μοριακό βάρος

Οι ιδιότητες με τις πιο πολλές αναφορές είναι κατά σειρά : η πυκνότητα (341 παρατηρήσεις), η κινηματική συνεκτικότητα (308 παρατηρήσεις), ο αριθμός ιωδίου (211 παρατηρήσεις), η οξύτητα (176 παρατηρήσεις), το σημείο ανάφλεξης (157 παρατηρήσεις), η ανώτερη θερμογόνος ικανότητα (136 παρατηρήσεις) και το σημείο απόχυσης (103 παρατηρήσεις). Να σημειωθεί πως βρέθηκαν τιμές και για άλλες ιδιότητες πέραν αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως περιεκτικότητα σε θείο, στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου και περιεκτικότητα σε γλυκερίνη, αλλά κρίθηκε σκόπιμο να μη συμπεριληφθούν στην μελέτη καθώς οι τιμές ήταν λίγες συνολικά (<15 για κάθε ιδιότητα) και αρκετά μεμονωμένες για κάθε φυτικό έλαιο (1 έως 2 αναφορές ανά φυτικό έλαιο).

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΦΥΤΙΚΟ ΕΛΑΙΟ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τις φυσικο-χημικές ιδιότητες και την σύσταση επί τοις εκατό σε λιπαρά οξέα για κάθε φυτικό έλαιο ξεχωριστά. Τα έλαια είναι σε αλφαβητική σειρά αλλά σύμφωνα με το λατινικό αλφάβητο (δηλαδή έλαιο Babassu, έλαιο Canola, καστορέλαιο/ Castor oil , ... , φουντουκέλαιο/ Hazelnut oil κ.τ.λ.) ενώ αναφέρονται και οι επιστημονικές ονομασίες τους. Φαίνεται σε κάθε πίνακα ιδιοτήτων το πλήθος αναφορών για το κάθε έλαιο, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή καθώς και ο αριθμός των εμφανίσεων κάθε ιδιότητας. Στον πίνακα των συστάσεων φαίνεται η κατάταξη των λιπαρών οξέων κατά χημικό τύπο και όνομα (συνηθισμένο/ επιστημονικό) και η μέση τιμή, με την τυπική απόκλιση να αναφέρεται στην παρένθεση.

4.1 Έλαιο Babassu (*Attalea speciosa*)



Πρόκειται για βρώσιμο έλαιο που προέρχεται από καρπούς του φοίνικα Babassu. Οι φοίνικες αυτοί απαντώνται κυρίως στο τροπικό δάσος του Αμαζονίου στην Νότια Αμερική. Οι χρήσεις του ελαίου ποικίλουν από καθαριστικά, καλλυντικά, φάρμακα και αναψυκτικά.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΕΛΑΙΟ BABASSU					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 11					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	924,4	12,38	946	915,3	5
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	31,1	2,12	34,8	28,5	8
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Αριθμός κετανίου	-	-	-	-	-
Αριθμός ιωδίου	21,7	4,03	25,4	14,7	7
Σημείο ανάφλεξης (°C)	225,0	106,7	300	150	2
Σημείο απόχυσης (°C)	-21,7	6,9	-16	-31,6	4
Σημείο θάλωσης (°C)	-9,7	4,2	-3,9	-15	6
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,61	0,37	1,26	0,13	6
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΕΛΑΙΟ BABASSU		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 10		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	5,68 (1,76)
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	5,61 (1,72)
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	41,58 (8,32)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	16,86 (2,51)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	9,84 (2,54)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	-
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	4,09 (2,03)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	14,26 (4,21)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	2,18 (1,76)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	-
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	-
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	-
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσσσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.2 Έλαιο Canola (*Brassica rapa*)



Έλαιο που προέρχεται από τροποποιημένη ποικιλία του φυτού της ελαιοκράμβης (βλ. κραμβέλαιο). Η γενετική τροποποίηση στο φυτό έγινε για να μειωθούν τα επίπεδα του τοξικού, για τον άνθρωπο, ερουκικού οξέος που υπήρχαν στην ελαιοκράμβη. Έτσι το έλαιο canola περιέχει πολύ μικρότερο ποσοστό αυτού του λιπαρού οξέος γεγονός που το καθιστά ασφαλές για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Οι χρήσεις του περιλαμβάνουν την παραγωγή βιοντίζελ, κεριών, λιπαντικών και μελανιού.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΕΛΑΙΟ CANOLA					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 35					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	912,8	5,50	922	900	16
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	34,7	2,64	38,2	29,8	16
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39719	238	40173	39360	8
Αριθμός κετανίου	-	-	-	-	-
Αριθμός ιωδίου	109,3	11,41	125,0	77,9	13
Σημείο ανάφλεξης (°C)	261,3	41,4	290,5	232	2
Σημείο απόχυσης (°C)	-21,7	6,9	-16	-31,6	4
Σημείο θόλωσης (°C)	-9,7	4,2	-3,9	-15	6
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	78,9	1,83	80,2	77,6	2
Υδρογόνο % κ.β.	11,4	0,72	11,9	10,9	2
Οξυγόνο % κ.β.	10,1	2,09	11,6	8,6	2
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	9,1	3,75	14,1	5,1	5
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,31	0,26	0,85	0,04	14
Μοριακό βάρος	880,95	1,49	882	879,9	2

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΕΛΑΙΟ CANOLA		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 28		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	4,52 (1,07)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,34 (0,32)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	1,99 (0,62)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	60,43 (2,80)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	21,19 (1,52)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	9,42 (1,55)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,57 (0,38)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	1,49 (0,79)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,35 (0,09)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,42 (0,26)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,16 (0,10)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.3 Καστορέλαιο (*Ricinus communis*)



Κοινώς ρετσινόλαδο. Φυτικό έλαιο που παράγεται από το τροπικό φυτό Ρίκινος ο Κοινός (*Ricinus communis*). Η περιεκτικότητα του ελαίου σχεδόν κατά 90% σε ρικινολεϊκό οξύ, το κάνει μοναδικό καθώς μπορεί να υποστεί πολλές χημικές διεργασίες σε αντίθεση με άλλα φυτικά έλαια. Το καστορέλαιο έχει εφαρμογές στην κατασκευή σαπουνιών, λιπαντικών, υδραυλικών και υγρών φρένων, χρωστικών ουσιών, βαφών, βερνικιών.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΚΑΣΤΟΡΕΛΑΙΟ / CASTOR OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 32					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	952,5	14,97	970	913	24
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	239,7	24,36	289,6	172,1	20
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36535	485	37100	36000	6
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	38600	1081	39500	37400	3
Αριθμός κετανίου	43,5	4,40	51,2	40	5
Αριθμός ιωδίου	85,3	2,61	89	82	8
Σημείο ανάφλεξης (°C)	274,9	38,1	320	229	11
Σημείο απόχυσης (°C)	-21,1	8,0	-14	-31,7	6
Σημείο θόλωσης (°C)	-14,9	17,7	1	-34	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,94	0,46	1,74	0,32	12
Μοριακό βάρος	887,56	43,22	918,12	857	2

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΚΑΣΤΟΡΕΛΑΙΟ / CASTOR OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 17		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	1,36 (0,48)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	-
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	1,11 (0,40)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	3,37 (0,67)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	88,07 (1,91)
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	4,82 (0,75)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,56 (0,31)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,25 (0,08)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,42 (0,14)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.4 Κοκκοφοινικέλαιο (*Cocos nucifera*)



Προερχόμενο από τους καρπούς του τροπικού κοκκοφοίνικα, το έλαιο αυτό χρησιμοποιείται στην μαγειρική και το τηγάνισμα ενώ είναι ευρέως διαδεδομένο και στην βιομηχανία παραγωγής σαπουνιού και καλλυντικών.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΚΟΚΚΟΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ / COCONUT OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 25					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	917,9	6,28	930	907,8	16
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	28,4	4,00	36,4	20	14
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	38215	661	38820	37260	5
Αριθμός κετανίου	-	-	-	-	-
Αριθμός ιωδίου	9,4	2,57	14,1	7	9
Σημείο ανάφλεξης (°C)	285,4	33,6	325	228	7
Σημείο απόχυσης (°C)	21,0	1,6	23	19	5
Σημείο θόλωσης (°C)	23,3	5,5	27	17	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	22,5	0,7	23	22	2
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	89,3	4,25	92,3	86,3	2
Οξύτητα (mg KOH/g)	1,42	1,39	3,5	0,1	5
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΚΟΚΚΟΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ / COCONUT OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 28		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	6,44 (2,57)
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	5,62 (1,45)
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	46,70 (5,46)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	18,75 (1,69)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	9,73 (13,83)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,11 (0,10)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,78 (0,59)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	6,86 (1,90)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	2,25 (1,29)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,04 (0,07)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,10 (0,07)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,03 (0,02)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.5 Αραβοσιτέλαιο (*Zea mays*)



Το γνωστό σε όλους μας έλαιο που προέρχεται από το καλαμπόκι. Βασική χρήση του αποτελεί το μαγείρεμα όπου λόγω του υψηλού σημείου καπνού που παρουσιάζει αποτελεί πολύ καλή λύση για το τηγάνισμα. Άλλες χρήσεις του είναι η παραγωγή βιοντίζελ, σαπουνιού, αντισκουριακών χρωμάτων, νιτρογλυκερίνης και εντομοκτόνων.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΑΡΑΒΟΣΙΤΕΛΑΙΟ / CORN OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 20					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	916,8	4,37	922,5	909,5	11
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	34,5	3,45	41,45	28	13
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37317	881	37850	36300	3
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39598	90	39680	39500	5
Αριθμός κετανίου	40,2	5,32	51	37,6	6
Αριθμός ιωδίου	120,5	14,64	132	104	3
Σημείο ανάφλεξης (°C)	275,0	9,6	285	259	5
Σημείο απόχυσης (°C)	-22,4	15,3	-8	-40	5
Σημείο θόλωσης (°C)	-1,9	1,0	-1,1	-3	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,25	0,04	0,3	0,23	3
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΑΡΑΒΟΣΙΤΕΛΑΙΟ / CORN OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 31		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	11,88 (1,45)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,13 (0,17)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,10 (0,45)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	27,23 (2,65)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	57,74 (3,64)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,64 (0,48)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,32 (0,29)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,35 (0,47)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,14 (0,05)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.6 Βαμβακέλαιο (Gossypium)



Παραγόμενο από τους καρπούς του βαμβακιού, το εν λόγω έλαιο χρησιμοποιείται κυρίως στην μαγειρική, και συγκεκριμένα σε συσκευασμένα τρόφιμα, επειδή περιέχει συστατικά που το κατατάσσουν σε σταθεροποιητή γεύσης δίνοντας στα τρόφιμα μακρά ημερομηνία λήξης.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

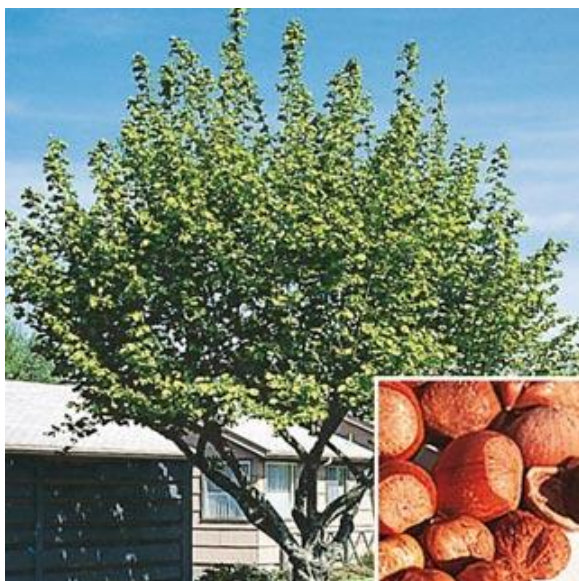
BAMBAΚΕΛΑΙΟ / COTTONSEED OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 23					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	922,9	17,91	965,9	906	14
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	35,39	4,70	50	32,8	12
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36333	416	36800	36000	3
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39687	364	40380	39300	8
Αριθμός κετανίου	39,7	4,66	48,1	33,7	7
Αριθμός ιωδίου	119,1	6,63	126,3	113,2	3
Σημείο ανάφλεξης (°C)	225,8	15,8	251	210	6
Σημείο απόχυσης (°C)	-8,6	7,1	0	-16	5
Σημείο θόλωσης (°C)	2,5	1,3	4	1,7	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	77,2	0,33	77,4	76,9	2
Υδρογόνο % κ.β.	11,9	0,01	11,9	11,9	2
Οξυγόνο % κ.β.	10,7	0,77	11,2	10,1	2
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,30	0,31	0,95	0,1	7
Μοριακό βάρος	859,60	10,75	867,2	852	2

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

BAMBAΚΕΛΑΙΟ / COTTONSEED OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 26		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,72 (0,46)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	25,19 (3,82)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,36 (0,34)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	1,79 (0,89)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	16,47 (3,13)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	54,83 (3,01)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,19 (0,22)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,22 (0,17)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,07 (0,12)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,11 (0,16)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.7 Φουντουκέλαιο (Corylus)



Υψηλής διατροφικής αξίας βρώσιμο έλαιο που παράγεται από το φουντούκι. Κύρια χρήση του, η μαγειρική.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΦΟΥΝΤΟΥΚΕΛΑΙΟ / HAZELNUT OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 6					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	915,0	7,07	920	910	2
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	26,4	3,29	31	24	2
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	32959	97	33028	32890	2
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39693	323	39950	39330	3
Αριθμός κετανίου	-	-	-	-	-
Αριθμός ιωδίου	-	-	-	-	-
Σημείο ανάφλεξης (°C)	237,5	10,6	245	230	2
Σημείο απόχυσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο θόλωσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	-	-	-	-	-
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΦΟΥΝΤΟΥΚΕΛΑΙΟ / HAZELNUT OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 14		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	6,21 (1,92)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,3 (0,09)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	3,62 (1,89)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	79,33 (2,14)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	10,66 (4,12)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,15 (0,13)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,10 (0,10)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,10 (0,17)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.8 Έλαιο *Jatropha* (*Jatropha Curcas*)



Πρόκειται για δηλητηριώδες έλαιο που προέρχεται από το δέντρο *Jatropha curcas*, ένα τροπικό φυτό που συναντάται κυρίως στην Ινδία, αλλά και στο Μεξικό και στην Κεντρική Αμερική. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης καθώς παράγει πρώτης τάξεως βιοντίζελ ενώ είναι και αρκετά ανθεκτικό στην ξηρασία με αποτέλεσμα φυτείες του να υπάρχουν παντού στον κόσμο.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΈΛΑΙΟ JATROPHA					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 63					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	915,6	8,71	939	890	52
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	35,1	6,23	52	24,5	44
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37187	1712	38880	33000	9
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39221	610	40650	38000	31
Αριθμός κετανίου	42,7	4,59	51	33,7	18
Αριθμός ιωδίου	100,2	7,73	121,8	80,8	22
Σημείο ανάφλεξης (°C)	223,8	24,4	280	172	30
Σημείο απόχυσης (°C)	1,0	4,9	8	-8	21
Σημείο θόλωσης (°C)	7,9	3,8	12	-1	10
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	21,5	0,71	22	21	2
Άνθρακας % κ.β.	76,6	0,56	77,2	76,1	3
Υδρογόνο % κ.β.	10,4	0,14	10,5	10,3	3
Οξυγόνο % κ.β.	11,7	1,41	13,1	10	4
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	9,4	6,026	15,6	1,2	4
Οξύτητα (mg KOH/g)	9,81	7,20	28	2,1	27
Μοριακό βάρος	853,17	65,25	927,99	797	4

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΈΛΑΙΟ ΙΑΤΡΟΡΗΑ		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 41		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,71 (1,95)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,27 (0,61)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	14,39 (1,85)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,69 (0,34)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	5,83 (1,67)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	42,05 (4,96)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	35,90 (5,07)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,23 (0,26)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	-
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,10 (0,09)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,14 (0,23)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσσερανικό οξύ	1,47 (2,28)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.9 Έλαιο Karanja (*Millettia pinnata*)



Έλαιο παραγόμενο από το δέντρο *Millettia Pinnata* που ευδοκίμει στις τροπικές και εύκρατες ζώνες της νότιας Ασίας. Δεν μπορεί να καταναλωθεί από τον άνθρωπο καθώς είναι τοξικό αλλά βρίσκει εφαρμογές σαν λάδι κεριών, λιπαντικό, αντισηπτικό και εντομοκτόνο. Κύρια χρήση βέβαια είναι η παραγωγή βιοντίζελ.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΈΛΑΙΟ ΚΑΡΑΝΤΖΑ					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 25					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	923,5	22,44	940	860	19
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	37,1	6,86	46	26,9	14
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	35676	1032	37255	34000	6
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39588	1228	41660	38416	5
Αριθμός κετανίου	37,2	9,11	53,2	29	6
Αριθμός ιωδίου	87,4	2,89	90,7	82,7	10
Σημείο ανάφλεξης (°C)	216,4	14,8	237	187	13
Σημείο απόχυσης (°C)	2,8	4,1	6	-3	6
Σημείο θόλωσης (°C)	1,0	1,0	2	0	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	13,92	8,60	30	3,4	11
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΈΛΑΙΟ ΚΑΡΑΝΙΑ		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 12		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	10,82 (1,54)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	-
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	7,92 (1,88)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	53,73 (3,74)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	20,68 (3,94)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	1,97 (1,89)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	1,82 (1,22)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	1,15 (0,99)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	4,11 (1,56)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	1,33 (1,23)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.10 Λινέλαιο (*Linum usitatissimum*)



Το λινέλαιο είναι βρώσιμο φυτικό έλαιο που εξάγεται από αποξηραμένους σπόρους του φυτού του λιναριού. Το λινέλαιο ανήκει στα «αποξηραίνόμενα έλαια», δηλαδή μπορεί να πολυμερίζεται παρουσία οξυγόνου λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του σε λινολενικό οξύ. Αυτός ο πολυμερισμός, που λέγεται και «αποξήρανση» του ελαίου, έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε άκαμπτο στερεό. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητάς του, το λινέλαιο χρησιμοποιείται ως βερνίκι, ως χρώμα, ως σκληρυντικό στον στόκο και αλλού.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

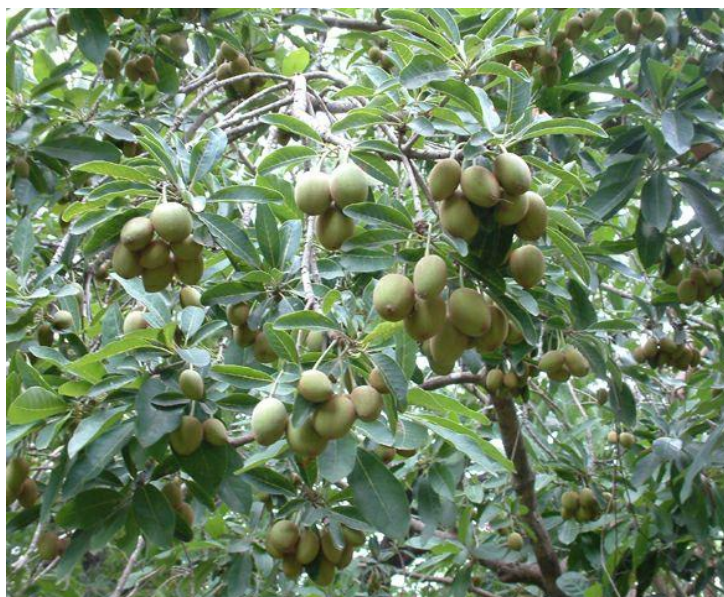
ΛΙΝΕΛΑΙΟ / LINSEED OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 20					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	928,2	15,68	957	886	14
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	26,2	1,90	28	22,2	7
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39164	674	39840	37700	9
Αριθμός κετανίου	31,2	3,90	34,6	27,6	4
Αριθμός ιωδίου	172,0	15,71	189,4	146,1	9
Σημείο ανάφλεξης (°C)	229,6	29,0	247	178	5
Σημείο απόχυσης (°C)	-11,7	5,8	-5	-15	3
Σημείο θόλωσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	1,2	1,4	2,2	0,2	2
Οξύτητα (mg KOH/g)	1,09	0,79	2	0,57	3
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΛΙΝΕΛΑΙΟ / LINSEED OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 19		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,03 (0,05)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,04 (0,05)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	5,18 (0,85)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,10 (0,11)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	3,26 (1,09)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	19,04 (2,08)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	16,12 (1,72)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	54,59 (5,41)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,09 (0,10)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,07 (0,10)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,10 (0,12)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,20 (0,40)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,03 (0,05)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.11 Έλαιο Mahua (*Madhuca indica*)



Είδος βρώσιμου φυτικού ελαίου που παράγεται από ένα τροπικό δέντρο που συναντάται σε δάση της κεντρικής και βόρειας Ινδίας, το *Madhuca longifolia*. Το έλαιο σε θερμοκρασία δωματίου έχει στερεά κατάσταση. Στις χρήσεις του περιλαμβάνονται η παραγωγή βιοντίζελ, προϊόντων δέρματος, σαπουνιού καθώς και η χρησιμοποίηση του από τους ντόπιους σαν φάρμακο.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΈΛΑΙΟ ΜΑΗΥΑ					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 16					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	905,5	14,40	924	880	11
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	32,8	4,90	39,5	24,6	11
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36805	1153	38000	35600	6
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	40561	1527	41820	38863	3
Αριθμός κετανίου	52,3	7,26	59,5	45	3
Αριθμός ιωδίου	71,7	12,54	88	57,6	6
Σημείο ανάφλεξης (°C)	235,2	27,3	286	208	9
Σημείο απόχυσης (°C)	14,8	0,5	15	14	4
Σημείο θόλωσης (°C)	15	2,8	17	13	2
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	22,80	15,25	38	7,5	3
Μοριακό βάρος	845	49,50	880	810	2

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΈΛΑΙΟ ΜΑΗΥΑ		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 10		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,15 (0,10)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	22,23 (2,40)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	-
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	22,49 (3,65)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	39,01 (4,11)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	14,87 (2,11)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,10 (0,17)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	1,01 (0,55)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	-
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	-
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.12 Έλαιο Neem (*Azadirachta indica*)



Πρόκειται για έλαιο που εξάγεται από τους καρπούς του δέντρου *Azadirachta indica*, ενδημικό φυτό της Ινδίας. Χρησιμοποιείται κυρίως σαν εντομοκτόνο για βιολογικές καλλιέργειες και σαν φάρμακο από τις τοπικές κοινωνίες για μια πληθώρα ασθενειών.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΈΛΑΙΟ ΝΕΕΜ					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 15					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	927,0	14,38	961	912	9
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	39,5	6,34	50,3	34	6
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	35581	484	36000	35125	4
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	42325	3288	44650	40000	2
Αριθμός κετανίου	44,1	13,24	58,2	32	3
Αριθμός ιωδίου	72,1	8,73	80	58,2	6
Σημείο ανάφλεξης (°C)	225,4	54,0	300	175	5
Σημείο απόχυσης (°C)	10,5	0,7	11	10	2
Σημείο θόλωσης (°C)	20,5	2,1	22	19	2
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	22,15	5,04	27,44	17,4	3
Μοριακό βάρος	845	49,50	880	810	2

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΈΛΑΙΟ ΝΕΕΜ		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 10		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,40 (0,57)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,18 (0,28)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	17,57 (1,14)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,05 (0,07)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	16,60 (1,92)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	45,83 (5,16)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	17,79 (3,70)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,72 (0,69)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	1,18 (0,32)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,05 (0,07)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,15 (0,21)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,10 (0,14)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.13 Ελαιόλαδο (*Olea europaea*)



Προερχόμενο από τους καρπούς της γνωστής μας ελιάς, το ελαιόλαδο χρησιμοποιείται στην μαγειρική, στην κοσμετολογία, στην φαρμακολογία, στην παραγωγή σαπουνιού και σαν λιπαντικό ενώ σε αρκετές θρησκείες ανά τον κόσμο έχει συμβολικό χαρακτήρα.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ / OLIVE OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 15					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	912,6	6,59	925	904	8
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	32,7	4,66	39,4	29,4	4
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37085	121	37171	37000	2
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39600	141	39700	39500	2
Αριθμός κετανίου	44,2	7,28	49,3	39	2
Αριθμός ιωδίου	88,2	9,39	100,2	79,6	6
Σημείο ανάφλεξης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόχυσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο θόλωσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	78,5	1,34	79,4	77,5	2
Υδρογόνο % κ.β.	12,0	0,50	12,3	11,6	2
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,84	0,47	1,17	0,5	2
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΕΛΑΙΟΛΑΔΟ / OLIVE OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 10		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,08 (0,13)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	11,26 (2,57)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,88 (0,53)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	0,07 (0,04)
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,79 (0,72)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	74,52 (3,17)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	9,82 (3,27)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,49 (0,29)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,51 (0,17)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,29 (0,25)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,16 (0,07)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,04 (0,06)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,17 (0,19)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.14 Φοινικέλαιο (*Elaeis guineensis*)



Βρώσιμο φυτικό έλαιο από τα φρούτα των αφρικανικών κυρίων φοινίκων έχει ημι-στερεά μορφή σε θερμοκρασία δωματίου. Κύριες χρήσεις του είναι η παραγωγή αρκετά καλής ποιότητας βιοντίζελ και η μαγειρική λόγω της υψηλής οξειδωτικής σταθερότητας που έχει.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ / PALM OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 40					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	910,7	16,64	934	860	22
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	39,6	5,28	48,1	24,1	20
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36608	862	37500	35780	3
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39568	418	40140	39047	6
Αριθμός κετανίου	45,5	4,95	49	42	2
Αριθμός ιωδίου	43,2	15,22	64,9	17	22
Σημείο ανάφλεξης (°C)	237,1	28,4	267	193	6
Σημείο απόχυσης (°C)	7,0	1,4	8	6	2
Σημείο θόλωσης (°C)	22,2	11,3	32,7	11	4
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	78,2	2,05	79,6	76,7	2
Υδρογόνο % κ.β.	12,2	0,92	12,8	11,5	2
Οξυγόνο % κ.β.	9,7	2,98	11,8	7,6	2
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	34,5	18,42	62	24,0	4
Οξύτητα (mg KOH/g)	2,54	2,87	8,55	0,17	9
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΦΟΙΝΙΚΕΛΑΙΟ / PALM OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 54		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	0,08 (0,04)
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	0,06 (0,05)
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,36 (0,29)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	1,13 (0,66)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	42,31 (3,18)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,17 (0,12)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	0,06 (0,06)
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	4,27 (0,93)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	40,90 (2,74)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	10,07 (1,79)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,28 (0,20)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,31 (0,16)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,16 (0,06)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,04 (0,05)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,05 (0,05)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.15 Φιστικέλαιο (*Arachis hypogaea*)



Παραγόμενο από τα γνωστά φιστίκια, ένα έλαιο που χρησιμοποιείται στο τηγάνισμα λόγω της υψηλού σημείου καπνού που έχει. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση του ως καύσιμο σε μηχανή εσωτερικής καύσης το 1900 από την εταιρία Otto, σε μια από τις πρώτες επιδείξεις της τεχνολογίας του βιοντίζελ.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΦΙΣΤΙΚΕΛΑΙΟ / PEANUT OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 9					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	899,5	10,35	908	888	3
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	39,2	1,13	40	37,5	4
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	40263	1040	41800	39500	4
Αριθμός κετανίου	38,2	5,09	41,8	34,6	2
Αριθμός ιωδίου	112,3	9,99	123,2	97,9	5
Σημείο ανάφλεξης (°C)	246,3	41,9	271	198	3
Σημείο απόχυσης (°C)	-5,6	1,4	-4	-6,7	3
Σημείο θόλωσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	-	-	-	-	-
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΦΙΣΤΙΚΕΛΑΙΟ / PEANUT OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 16		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	10,33 (2,22)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	-
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,79 (1,70)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	49,63 (3,21)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	31,52 (2,92)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,64 (0,56)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	1,07 (0,40)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	1,48 (1,05)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	2,86 (0,77)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,10 (0,11)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	1,30 (0,73)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.16 Κραμβέλαιο (*Brassica napus*)



Το κραμβέλαιο προέρχεται από την ελαιοκράμβη (rapeseed). Πρόκειται για μη φαγώσιμο έλαιο λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε ερουκικό οξύ ενώ οι κύριες εφαρμογές του είναι η παραγωγή βιοντίζελ και τροφής ζώων.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΚΡΑΜΒΕΛΑΙΟ / RAPESEED OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 30					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	915,6	5,48	924,4	903	22
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	35,8	4,78	46,5	23,9	19
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37145	357	37620	39690	8
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39732	361	40270	39080	8
Αριθμός κετανίου	42,3	5,46	50	37,5	7
Αριθμός ιωδίου	110,5	5,81	120	101,1	11
Σημείο ανάφλεξης (°C)	256,1	27,7	320	234	9
Σημείο απόχυσης (°C)	-22,4	8,3	-11	-31,7	5
Σημείο θόλωσης (°C)	-7,0	4,3	-3,9	-10	2
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	78,8	1,39	79,6	77,2	3
Υδρογόνο % κ.β.	11,5	0,22	11,8	11,4	3
Οξυγόνο % κ.β.	9,9	1,12	11,0	9,0	4
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	9,5	3,51	14,1	5,8	4
Οξύτητα (mg KOH/g)	1,39	1,12	4,02	0,01	16
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΚΡΑΜΒΕΛΑΙΟ / RAPESEED OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 49		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,04 (0,04)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	4,06 (0,81)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,23 (0,11)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	0,07 (0,12)
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	1,54 (0,49)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	62,29 (2,23)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	20,65 (1,65)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	8,71 (1,36)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,87 (0,78)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	1,09 (0,72)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,27 (0,25)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,77 (0,90)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,04 (0,07)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.17 Ρυζέλαιο (*Oryza sativa*)



Πρόκειται για έλαιο που προέρχεται από το σκληρό καφέ περίβλημα του ρυζιού. Ιδανικό για μαγείρεμα υψηλών θερμοκρασιών, όπως το τηγάνισμα, λόγω του υψηλού σημείου καπνού. Θεωρείται ένα από τα πιο υγιεινά φυτικά έλαια από διεθνείς οργανισμούς υγείας λόγω της αναλογίας κορεσμένων, μονο-ακόρεστων και πολύ-ακόρεστων λιπαρών οξέων που περιέχει.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΡΥΖΕΛΑΙΟ / RICE-BRAN OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 17					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	941,3	32,17	995	916,3	8
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	41,3	3,36	45,7	33,9	12
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36751	1010	37900	36000	3
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	38816	545	39500	38220	4
Αριθμός κετανίου	39,7	10,07	50,1	30	3
Αριθμός ιωδίου	98,3	6,21	107	91,5	7
Σημείο ανάφλεξης (°C)	284,4	42,1	323	200	8
Σημείο απόχυσης (°C)	-3,3	8,4	2	-13	3
Σημείο θόλωσης (°C)	8,3	9,0	14	-2	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,59	0,39	1	0,23	3
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΡΥΖΕΛΑΙΟ / RICE-BRAN OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 19		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,08 (0,09)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,45 (0,33)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	18,12 (3,42)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,20 (0,09)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,17 (0,92)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	42,35 (5,81)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	34,84 (2,56)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,93 (0,58)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,45 (0,25)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,22 (0,16)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,21 (0,09)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,16 (0,26)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.18 Έλαιο Rubber-seed (*Hevea brasiliensis*)



Παραγόμενο από τους καρπούς των καουτσουκόδεντρων το συγκεκριμένο έλαιο δεν είναι πολύ διαδεδομένο. Στην Καμπότζη και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιείται ως τροφή ζώων. Έχει ιδιότητες «ημι-ξηραίνομενου» ελαίου, μπορεί να σαπωνοποιηθεί ενώ έχει και φαρμακευτικές ιδιότητες.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΕΛΑΙΟ RUBBER-SEED					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 20					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	910,4	16,12	926	870,9	18
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	36,2	4,68	45	31,4	10
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37500	0	37500	37500	4
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	38832	554	39223	38440	2
Αριθμός κετανίου	36,3	2,87	40	34	4
Αριθμός ιωδίου	139,3	6,86	155,6	132,6	13
Σημείο ανάφλεξης (°C)	249,3	40,2	295	198	8
Σημείο απόχυσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο θόλωσης (°C)	-	-	-	-	-
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	45,32	18,31	84	23,8	10
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΕΛΑΙΟ RUBBER-SEED		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 7		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,51 (0,95)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	9,39 (1,13)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,13 (0,12)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	0,04 (0,05)
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	9,41 (1,13)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	24,22 (2,12)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	38,12 (2,38)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	17,54 (3,27)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,28 (0,29)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,12 (0,10)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,08 (0,08)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.19 Καρθαμέλαιο (*Carthamus tinctorius*)



Έλαιο από το φυτό κάρθαμος. Εμφανίζονται δύο ποικιλίες στην φύση. Η μία περιέχει υψηλά επίπεδα μονο-ακόρεστων λιπαρών οξέων ενώ η άλλη υψηλά επίπεδα πολύ-ακόρεστων λιπαρών οξέων, γι' αυτό το λόγο και το έλαιο από την πρώτη χρησιμοποιείται για διατροφικούς λόγους ενώ αυτό από την δεύτερη χρησιμοποιείται για κατασκευή βαφών.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΚΑΡΘΑΜΕΛΑΙΟ / SAFFLOWER OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 16					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	919,6	14,06	950	902,1	9
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	31,8	4,76	41,2	26,6	10
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39485	253,772	39790	39000	8
Αριθμός κετανίου	44,1	4,32	49,1	41,3	3
Αριθμός ιωδίου	137,2	3,82	141	133	4
Σημείο ανάφλεξης (°C)	257,3	24,7	293	225	7
Σημείο απόχυσης (°C)	-13,8	7,0	-6,7	-20,6	3
Σημείο θόλωσης (°C)	-5,4	5,9	-2	-12,2	3
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	67,1	0,18	67,3	67	2
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	4,0	1,04	5,1	3,0	3
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,54	0,61	0,97	0,11	2
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΚΑΡΘΑΜΕΛΑΙΟ / SAFFLOWER OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 22		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,12 (0,12)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	7,41 (1,29)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,04 (0,05)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	2,36 (0,57)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	14,37 (2,46)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	75,17 (3,33)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,08 (0,09)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,08 (0,15)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	-
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,10 (0,17)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.20 Σουσαμέλαιο (*Sesamum indicum*)



Οι σπόροι του σουσαμιού δίνουν το συγκεκριμένο βρώσιμο έλαιο. Χαρακτηρίζεται από υψηλή διατροφική αξία και χρησιμοποιείται κυρίως στην ασιατική κουζίνα. Στην Ινδία χρησιμοποιείται παραδοσιακά για κοσμετολογικούς λόγους ενώ κατέχει και ιδιαίτερο συμβολικό χαρακτήρα στον Ινδουισμό.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΣΟΥΣΑΜΕΛΑΙΟ / SESAME OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 7					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	910,8	10,73	920	899	3
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	32,4	5,76	36,0	25,8	3
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	-	-	-	-	-
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39565	92	39630	39500	2
Αριθμός κετανίου	-	-	-	-	-
Αριθμός ιωδίου	101,7	14,02	115	82,5	5
Σημείο ανάφλεξης (°C)	252,5	10,6	260	245	2
Σημείο απόχυσης (°C)	-11,1	2,5	-9,4	-14	3
Σημείο θόλωσης (°C)	-1,5	3,5	1	-3,9	2
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	-	-	-	-	-
Άνθρακας % κ.β.	-	-	-	-	-
Υδρογόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξυγόνο % κ.β.	-	-	-	-	-
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	-	-	-	-	-
Οξύτητα (mg KOH/g)	3,52	1,02	4,24	2,8	2
Μοριακό βάρος	-	-	-	-	-

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΣΟΥΣΑΜΕΛΑΙΟ / SESAME OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 12		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	-
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	10,06 (0,67)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,10 (0,08)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	5,14 (0,84)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	40,18 (2,65)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	43,46 (2,46)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,56 (0,41)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,57 (0,06)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,10 (0,14)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,08 (0,05)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	-
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	-

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.21 Σογιέλαιο (*Glycine max*)



Παραγόμενο από τους καρπούς της σόγιας που μοιάζουν σαν φασόλια, το έλαιο αυτό είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται στο μαγείρεμα. Ανήκει επίσης στα «αποξηραινόμενα έλαια», γι' αυτό και χρησιμοποιείται σαν μελάνι και σαν χρώμα.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΣΟΓΙΕΛΑΙΟ / SOYBEAN OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 58					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	915,6	9,10	925,6	890,5	28
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	32,7	2,90	39,3	26,1	30
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	37017	69	37115	36952	4
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39594	65	39685	39440	9
Αριθμός κετανίου	39,5	4,10	48,8	37,9	7
Αριθμός ιωδίου	128,2	7,92	148,4	112,6	23
Σημείο ανάφλεξης (°C)	242,4	22,5	280,5	217	6
Σημείο απόχυσης (°C)	-9,8	2,4	-6	-13	13
Σημείο θόλωσης (°C)	-6,0	2,1	-3,9	-9,9	7
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	4,3	7,8	13	-2	3
Άνθρακας % κ.β.	77,6	1,21	79	76,7	3
Υδρογόνο % κ.β.	11,2	0,44	11,7	10,6	4
Οξυγόνο % κ.β.	10,7	1,39	11,7	9,7	2
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	6,2	2,37	9,1	2,0	7
Οξύτητα (mg KOH/g)	0,94	1,83	7,8	0,03	19
Μοριακό βάρος	876,12	31,29	920	847	4

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΣΟΓΙΕΛΑΙΟ / SOYBEAN OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 91		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	0,08 (0,14)
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,12 (0,24)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	11,50 (1,76)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,16 (0,22)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	4,11 (0,80)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	23,50 (1,96)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	53,33 (2,54)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	6,76 (2,10)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,32 (0,23)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,22 (0,22)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,27 (0,22)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,07 (0,13)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,13 (0,12)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

4.22 Ηλιέλαιο (*Helianthus annuus*)



Βρώσιμο έλαιο, εξαγόμενο από τους ηλιόσπορους, που χρησιμοποιείται στην μαγειρική, στην κοσμετολογία καθώς και στην παραγωγή καλής ποιότητας βιοντίζελ, ειδικά από την ποικιλία του φυτού που περιέχει υψηλά επίπεδα ολεϊκού οξέος.

Φυσικο-χημικές ιδιότητες του ελαίου

ΗΛΙΕΛΑΙΟ / SUNFLOWER OIL					
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 49					
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Εμφανίσεις
Πυκνότητα (kg/m ³)	915,3	10,30	934	880	27
Κινηματική συνεκτικότητα (mm ² /s) @40°C	34,6	5,70	46,6	21,1	27
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	36848	429	37220	36200	8
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	39559	51	39600	39460	9
Αριθμός κετανίου	38,8	4,54	48,1	36,7	6
Αριθμός ιωδίου	119,4	18,65	140,1	84,4	17
Σημείο ανάφλεξης (°C)	276,1	38,4	332	220	10
Σημείο απόχυσης (°C)	-15,5	3,3	-8	-18	8
Σημείο θόλωσης (°C)	2,5	9,7	7,6	-12	4
Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	10,5	12,0	19	2	2
Άνθρακας % κ.β.	77,8	0,88	79,3	77,2	5
Υδρογόνο % κ.β.	11,6	0,33	11,9	11,1	5
Οξυγόνο % κ.β.	10,7	0,61	11,4	9,6	6
Οξειδωτική σταθερότητα (hours)	17,7	7,02	23,9	10,1	3
Οξύτητα (mg KOH/g)	1,33	1,65	4,31	0,02	18
Μοριακό βάρος	875,51	7,93	883,27	862	6

Σύσταση % του ελαίου σε λιπαρά οξέα

ΗΛΙΕΛΑΙΟ / SUNFLOWER OIL		
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ : 43		
ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ		ΣΥΣΤΑΣΗ
8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	Καπρυλικό/Οκτανικό οξύ	-
10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	Καπρικό/Δεκανικό οξύ	-
12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Λαουρικό/Δωδεκανικό οξύ	-
14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Μυριστικό/Τεσσαραδεκανικό οξύ	0,04 (0,05)
16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Παλμιτικό/Εξαδεκανικό οξύ	6,35 (1,62)
16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	Παλμιτολεϊκό/cis-9-εξαδεκενικό οξύ	0,07 (0,07)
17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	Μαργαρικό/Επταδεκανικό οξύ	-
18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Στεατικό/Οκταδεκανικό οξύ	3,92 (1,15)
18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Ολεϊκό/cis-9-οκταδεκενικό οξύ	20,91 (5,65)
18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	Ρικινολεϊκό/12-υδροξυ-cis-9-οκταδεκενικό οξύ	-
18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Λινολεϊκό/ cis-9,cis-12-οκταδεκαδιενικό οξύ	67,58 (6,35)
18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Λινολενικό/cis-9,cis-12,cis-15-οκταδεκατριενικό οξύ	0,17 (0,23)
20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Αραχιδικό/Εικοσανικό οξύ	0,22 (0,17)
20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Γονδοϊκό/cis-11-εικοσενικό οξύ	0,11 (0,11)
22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	Βαχενικό/Εικοσιδυανικό οξύ	0,66 (0,28)
22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	Ερουκικό/cis-13-εικοσιδυενικό οξύ	0,07 (0,13)
24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Λιγνοκερικό/Εικοσιτεσερανικό οξύ	0,26 (0,09)

(Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις)

5. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΕ ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ

5.1. Γενικά

Ο Πίνακας 5.1 συνοψίζει τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις της σύστασης σε λιπαρά οξέα όλων των φυτικών ελαίων. Επίσης φαίνεται και ο αριθμός εμφανίσεων στην τελευταία στήλη. Μια πιο γενική εικόνα δίνεται στο Σχήμα 5.1 όπου φαίνεται το συνολικό ποσοστό της σύστασης % σε κορεσμένα, μονο-ακόρεστα (ένας διπλός δεσμός στο μόριο, της μορφής C_xh:1) και πολυ-ακόρεστα (δύο ή και παραπάνω διπλοί δεσμοί στο μόριο, της μορφής C_xh:2, C_xh:3 κ.τ.λ.) λιπαρά οξέα ενώ

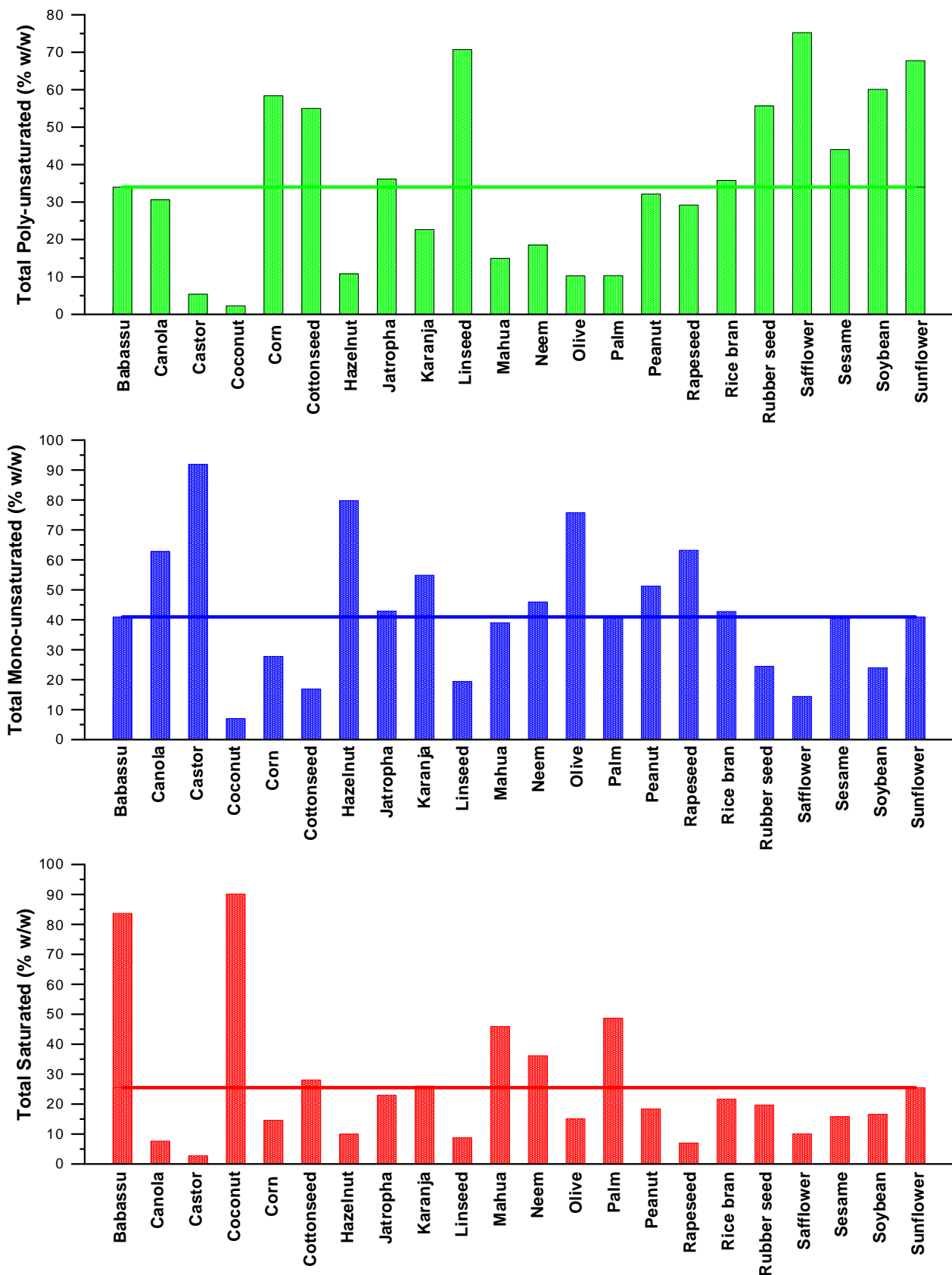
στο Σχήμα 5.2 φαίνονται η σύσταση των ελαίων σε στεαρικό, ολεϊκό, λινολεϊκό και λινολενικό οξύ ενώ απεικονίζονται γραφικά και οι τυπικές αποκλίσεις.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι το ηλιέλαιο παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόκλιση στην σύστασή του. Αυτό διότι το ηλιέλαιο έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο με αποτέλεσμα οποιεσδήποτε διαφορές στην σύσταση του εδάφους, στην καλλιέργεια του φυτού και στις συνθήκες κατά τις οποίες αναπτύχθηκε, να αντικατοπτρίζονται και σε διαφορετική σύσταση λιπαρών οξέων. Από την άλλη, τα φυτικά έλαια που έχουν ερευνηθεί αρκετά όπως το σογιέλαιο, το φοινικέλαιο και το κραμβέλαιο παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνοχή στην σύστασή τους.

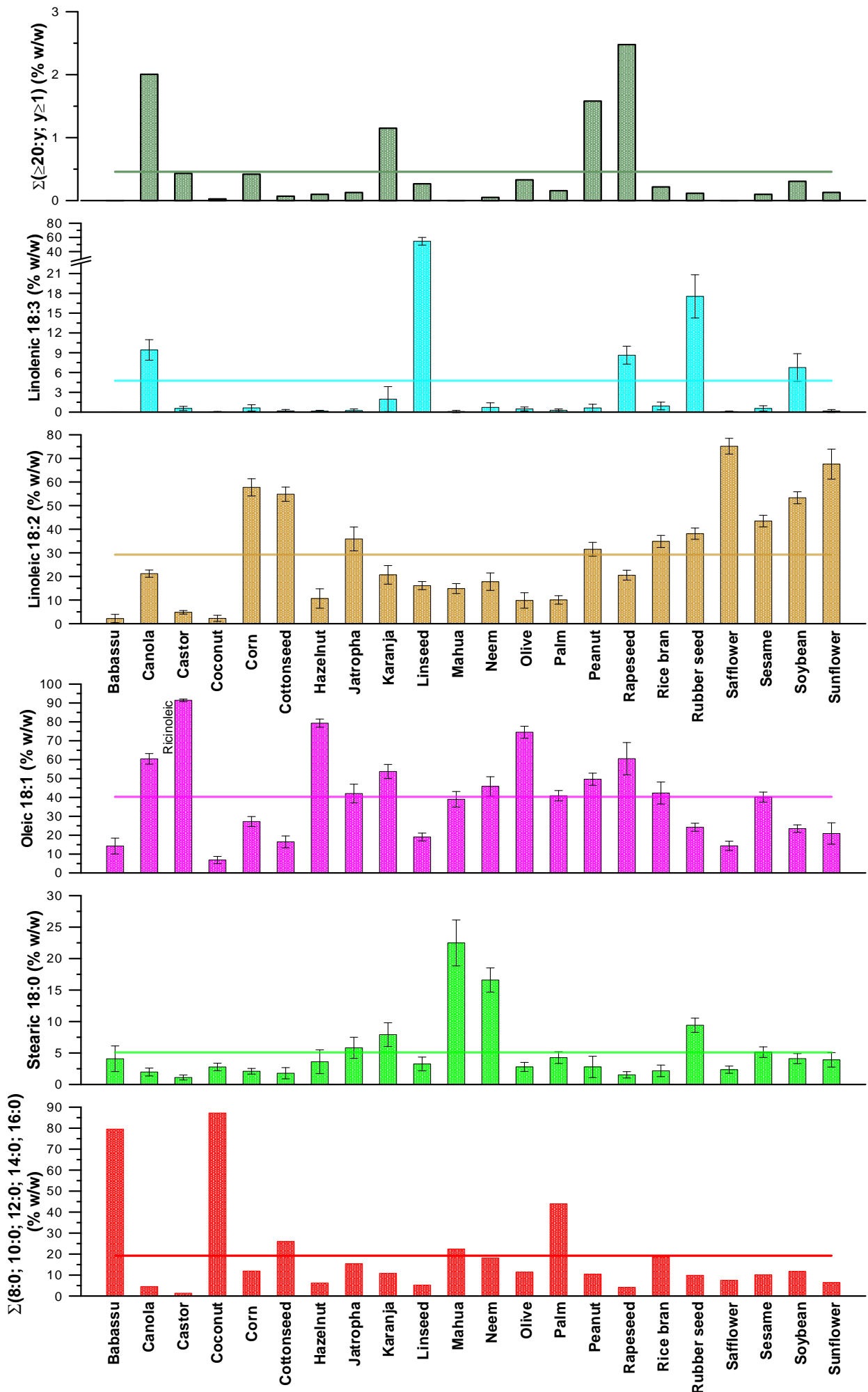
Η πλειονότητα των φυτικών ελαίων έχει ως βασικά ακόρεστα λιπαρά οξέα το ολεϊκό, το λινολεϊκό και το λινολενικό οξύ (Σχήμα 5.2), αλλά υπάρχουν και κάποιες αξιοσημείωτες εξαιρέσεις. Για παράδειγμα το καστορέλαιο παρουσιάζει μεγάλη συγκέντρωση ρικινολεϊκού οξέος (λιπαρό οξύ που περιέχει ομάδα υδροξειδίου), που είναι υπεύθυνο για την μεγάλη κινηματική συνεκτικότητα και πυκνότητα του ελαίου. Ένα άλλο φυτικό έλαιο, που είναι γνωστό για την διαφορετικότητά του σε σχέση με τα υπόλοιπα, είναι το κοκκοφοινικέλαιο. Το κάτω υποδιάγραμμα στο Σχήμα 5.1, που απεικονίζει το ποσοστό κατά βάρος του κάθε ελαίου σε κορεσμένα λιπαρά οξέα, δείχνει ότι το κοκκοφοινικέλαιο είναι σχεδόν κατά 90% κορεσμένο. Παρόμοια σύσταση παρατηρείται και στο έλαιο Babassu που είναι κατά περίπου 84% κορεσμένο. Ακολουθούν το φοινικέλαιο (49%) και το έλαιο Mahua (46%). Στον αντίποδα, τα μεγαλύτερα ποσοστά σε μονο-ακόρεστα λιπαρά οξέα εμφανίζονται στο καστορέλαιο (92%), στο φουντουκέλαιο (80%), στο ελαιόλαδο (76%), στο κραμβέλαιο (63,2%), στο έλαιο Canola (62,8%), στο έλαιο Karanja (55%) και στο φυσικέλαιο (51%) ενώ τα μεγαλύτερα ποσοστά σε πολύ-ακόρεστα λιπαρά οξέα εμφανίζονται στο καρθαμέλαιο (75%), στο λινέλαιο (71%), στο ηλιέλαιο (68%), στο σογιέλαιο (60%), στο αραβοσιτέλαιο (58%), στο έλαιο Rubber-seed (56%) και στο βαμβακέλαιο (55%). Μια πιο λεπτομερής εικόνα των πιο σημαντικών ποσοστών λιπαρών οξέων δίνεται και στο Σχήμα 5.2 όπου μπορεί να παρατηρηθεί πως το αραβοσιτέλαιο, το βαμβακέλαιο, το καρθαμέλαιο, το σογιέλαιο και το ηλιέλαιο είναι πλούσια σε λινολεϊκό οξύ ενώ το λινέλαιο, το έλαιο Rubber-seed και σε ένα μικρότερο βαθμό, το κραμβέλαιο και το έλαιο Canola είναι πλούσια σε λινολενικό οξύ.

Πίνακας 5.1. Συστάσεις επί τοις εκατό (%) όλων των ελαίων σε λιπαρά οξέα. (Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις, αναφέρονται μόνο λιπαρά οξέα που έχουν τουλάχιστον ποσοστό 0,03% επί του συνολικού βάρους).

	8:0 C ₈ H ₁₆ O ₂	10:0 C ₁₀ H ₂₀ O ₂	12:0 C ₁₂ H ₂₄ O ₂	14:0 C ₁₄ H ₂₈ O ₂	16:0 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	16:1 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	17:0 C ₁₇ H ₃₄ O ₂	18:0 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	18:1 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	18:1 OH C ₁₈ H ₃₄ O ₃	18:2 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	18:3 C ₁₈ H ₃₀ O ₂	20:0 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	20:1 C ₂₀ H ₃₈ O ₂	22:0 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	22:1 C ₂₂ H ₄₂ O ₂	24:0 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	Εμφανίσεις
Μοριακό Βάρος (kg/kmol)	144,21	172,26	200,32	228,37	256,42	254,41	270,45	284,48	282,46	298,46	280,45	278,43	312,53	310,51	340,58	338,57	368,63	
Επίσημο (συνηθισμένο) όνομα λιπαρού οξέος	Οκτανικό (Καπρυλικό)	Δεκανικό (Καπρικό)	Δωδεκανικό (Λαυρικό)	Τεσσαρα- κανικό (Μυριστικό)	Εξαδεκανικό (Παλμτικό)	cis-9- εξασθενικό (Παλμολει- κό)	Επταδεκαν- ικό (Μαργαρικό)	Οκταδεκαν- ικό (Στεατικό)	cis-9- οκταδεκαν- ικό (Ολεϊκό)	12-υδροξυ- cis-9- οκταδε- κενικό	cis-9,cis-12- οκταδεκαδι- ενικό (Λινολεϊκό)	cis-9,cis-12, cis-15- οκταδεκα- τριενικό (Λινολενικό)	Εικοσανικό (Αραχιδικό)	cis-11- εικοσενικό (Γονδοϊκό)	Εικοσιδυ- ενικό (Βαχενικό)	cis-13- εικοσιδιεν- ικό (Ερουϊκό)	Εικοσιτεσε- ρανικό (Λινοκερικό)	
Έλαιο Babassu (<i>attalea speciosa</i>)	5,68 (1,76)	5,61 (1,72)	41,58 (8,32)	16,86 (2,51)	9,84 (2,54)	-	-	4,09 (2,03)	14,26 (4,21)	-	2,18 (1,76)	-	-	-	-	-	-	10
Έλαιο Canola (<i>brassica rapa</i>)	-	-	-	-	4,52 (1,07)	0,34 (0,32)	-	1,99 (0,62)	60,43 (2,80)	-	21,19 (1,52)	9,42 (1,55)	0,57 (0,38)	1,49 (0,79)	0,35 (0,09)	0,42 (0,26)	0,16 (0,10)	28
Καστορέλαιο (<i>ricinus communis</i>)	-	-	-	-	1,36 (0,48)	-	-	1,11 (0,40)	3,37 (0,67)	88,07 (1,91)	4,82 (0,75)	0,56 (0,31)	0,25 (0,08)	0,42 (0,14)	-	-	-	17
Κοκκοφοινικόελαιο (<i>cocos nucifera</i>)	6,44 (2,57)	5,62 (1,45)	46,70 (5,46)	18,75 (1,69)	9,73 (1,69)	0,11 (0,10)	-	2,78 (0,59)	6,86 (1,90)	-	2,25 (1,29)	0,04 (0,07)	0,10 (0,07)	0,03 (0,02)	-	-	-	28
Αραβοσιτέλαιο (<i>zea mays</i>)	-	-	-	-	11,88 (1,45)	0,13 (0,17)	-	2,10 (0,45)	27,23 (2,65)	-	57,74 (3,64)	0,64 (0,48)	0,32 (0,26)	0,35 (0,47)	-	-	0,14 (0,05)	31
Βαμβακέλαιο (<i>gossypium</i>)	-	-	-	0,72 (0,46)	25,19 (3,82)	0,36 (0,34)	-	1,79 (0,89)	16,47 (3,13)	-	54,83 (3,01)	0,19 (0,22)	0,22 (0,17)	0,07 (0,12)	0,11 (0,16)	-	-	26
Φουντουκέλαιο (<i>hazel corylus</i>)	-	-	-	-	6,21 (1,92)	0,30 (0,09)	-	3,62 (1,89)	79,33 (2,14)	-	10,66 (4,12)	0,15 (0,13)	0,10 (0,10)	0,10 (0,17)	-	-	-	14
Έλαιο Jatropha (<i>jatropha curcas</i>)	-	-	0,71 (1,95)	0,27 (0,61)	14,39 (1,85)	0,69 (0,34)	0,08 (0,06)	5,83 (1,67)	42,05 (4,96)	-	35,90 (5,07)	0,23 (0,26)	0,09 (0,09)	0,10 (0,09)	0,14 (0,23)	-	1,47 (2,28)	41
Έλαιο Καραηja (<i>pongamia pinnata</i>)	-	-	-	-	10,82 (1,54)	-	-	7,92 (1,88)	53,73 (3,74)	-	20,68 (3,94)	1,97 (1,89)	1,82 (1,22)	1,15 (0,99)	4,11 (1,56)	-	1,33 (1,23)	12
Λινέλαιο (<i>linum usitatissimum</i>)	-	-	0,03 (0,05)	0,04 (0,05)	5,18 (0,85)	0,10 (0,11)	-	3,26 (1,09)	19,04 (2,08)	-	16,12 (1,72)	54,59 (5,41)	0,09 (0,10)	0,07 (0,10)	0,10 (0,12)	0,20 (0,40)	0,03 (0,05)	19
Έλαιο Mahua (<i>madhuca indica</i>)	-	-	-	0,15 (0,10)	22,23 (2,40)	-	-	22,49 (3,65)	39,01 (4,11)	-	14,87 (2,11)	0,10 (0,17)	1,01 (0,55)	-	-	-	-	10
Έλαιο Neem (<i>azadirachta indica</i>)	-	-	0,40 (0,57)	0,18 (0,28)	17,57 (1,14)	0,05 (0,07)	-	16,60 (1,92)	45,83 (5,16)	-	17,79 (3,70)	0,72 (0,69)	1,18 (0,32)	0,05 (0,07)	0,15 (0,21)	-	0,10 (0,14)	10
Ελαιόλαδο (<i>olea europaea</i>)	-	-	-	0,08 (0,13)	11,26 (2,57)	0,88 (0,53)	0,07 (0,04)	2,79 (0,72)	74,52 (3,17)	-	9,82 (3,27)	0,51 (0,17)	0,49 (0,29)	0,29 (0,25)	0,16 (0,07)	0,04 (0,06)	0,17 (0,19)	31
Φοινικόελαιο (<i>arecaceae</i>)	0,08 (0,04)	0,06 (0,05)	0,36 (0,29)	1,13 (0,66)	42,31 (3,18)	0,17 (0,12)	0,06 (0,06)	4,27 (0,93)	40,90 (2,74)	-	10,07 (1,79)	0,28 (0,20)	0,31 (0,16)	0,16 (0,06)	0,04 (0,05)	-	0,05 (0,05)	54
Φιστικέλαιο (<i>arachis hypogaea</i>)	-	-	-	-	10,33 (2,22)	-	-	2,79 (1,70)	49,63 (3,21)	-	31,52 (2,92)	0,64 (0,56)	1,07 (0,40)	1,48 (1,05)	2,86 (0,77)	0,10 (0,11)	1,30 (0,73)	16
Κραμβέλαιο (<i>brassica napus</i>)	-	-	-	0,04 (0,04)	4,06 (0,81)	0,23 (0,11)	0,07 (0,12)	1,54 (0,49)	62,29 (2,23)	-	20,65 (1,65)	8,71 (1,36)	0,87 (0,78)	1,09 (0,72)	0,27 (0,25)	0,77 (0,90)	0,04 (0,07)	46
Ρυζέλαιο (<i>oryza sativa</i>)	-	-	0,08 (0,09)	0,45 (0,38)	18,12 (3,42)	0,20 (0,09)	-	2,17 (0,92)	42,35 (5,81)	-	34,84 (2,56)	0,93 (0,58)	0,45 (0,25)	0,22 (0,16)	0,21 (0,09)	-	0,16 (0,26)	19
Έλαιο Rubberseed (<i>hevea brasiliensis</i>)	-	-	-	0,51 (0,95)	9,39 (1,13)	0,13 (0,12)	0,04 (0,05)	9,41 (1,13)	24,22 (2,12)	-	38,12 (2,38)	17,54 (3,27)	0,28 (0,29)	0,12 (0,10)	0,08 (0,08)	-	-	7
Καρθαμέλαιο (<i>carthamus tinctorius</i>)	-	-	-	0,12 (0,12)	7,41 (1,29)	0,04 (0,05)	-	2,36 (0,57)	14,37 (2,46)	-	75,17 (3,33)	0,08 (0,09)	0,08 (0,15)	-	0,10 (0,17)	-	-	22
Σουσαμέλαιο (<i>sesamum indicum</i>)	-	-	-	-	10,06 (0,67)	0,10 (0,08)	-	5,14 (0,84)	40,18 (2,65)	-	43,46 (2,46)	0,56 (0,41)	0,57 (0,06)	0,10 (0,14)	0,08 (0,05)	-	-	12
Σογιέλαιο (<i>glycine max</i>)	-	-	0,08 (0,14)	0,12 (0,24)	11,50 (1,76)	0,16 (0,22)	0,04 (0,05)	4,11 (0,80)	23,50 (1,96)	-	53,33 (2,54)	6,76 (2,10)	0,32 (0,23)	0,22 (0,22)	0,27 (0,22)	0,07 (0,13)	0,13 (0,12)	91
Ηλιέλαιο (<i>helianthus annuus</i>)	-	-	-	0,04 (0,05)	6,35 (1,62)	0,07 (0,07)	-	3,92 (1,15)	20,91 (5,65)	-	67,58 (6,35)	0,17 (0,23)	0,22 (0,17)	0,11 (0,11)	0,66 (0,28)	-	0,26 (0,09)	43



Σχήμα 5.1. Συγκριτική απεικόνιση της σύστασης % των φυτικών ελαίων σε κορεσμένα (saturated), μονο-ακόρεστα (mono-unsaturated) και πολυ-ακόρεστα (poly-unsaturated) λιπαρά οξέα (η ευθεία γραμμή αντιστοιχεί στην μέση τιμή).



Σχήμα 5.2. Συγκριτική απεικόνιση της σύστασης % των φυτικών ελαίων σε συγκεκριμένα λιπαρά οξέα συμπεριλαμβανομένης και της τυπικής απόκλισης (η ευθεία γραμμή αντιστοιχεί στην μέση τιμή).

5.2. Βαθμός ακορεστότητας

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση που έχει η σύσταση σε λιπαρά οξέα στις ιδιότητες του κάθε ελαίου, είναι αναγκαίο να βρεθεί πρώτα ο βαθμός ακορεστότητάς του, που συνήθως εκφράζεται και με το αριθμό ιωδίου. Στον Πίνακα 5.2 γίνεται μια ανάλυση του βαθμού ακορεστότητας χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 5.1. Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις όσον αφορά τον προσδιορισμό του βαθμού ακορεστότητας. Η πρώτη (1^η στήλη στον Πίνακα 5.2) προσέγγιση γίνεται απλώς προσθέτοντας τα κορεσμένα και ακόρεστα ποσοστιαία βάρη, χωρίς να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ μονο-ακόρεστων και πολύ-ακόρεστων λιπαρών οξέων (εξ ου και ο τίτλος «μη ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας). Στη δεύτερη προσέγγιση (2^η στήλη στον Πίνακα 5.2), όλα τα λιπαρά οξέα με 3 ή και περισσότερους διπλούς δεσμούς θεωρούνται ότι έχουν την ίδια βαρύτητα με αυτά που έχουν 2 διπλούς δεσμούς (με ονομασία «μερικώς ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας). Στην τρίτη και πιο ακριβή προσέγγιση (3^η στήλη του Πίνακα 5.2), κάθε ακόρεστο λιπαρό οξύ υπολογίζεται με βαρύτητα που αντιστοιχεί στον αριθμό διπλών δεσμών που υπάρχουν στο μόριο («ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας) ενώ η τιμή που προκύπτει για κάθε φυτικό έλαιο στην συγκεκριμένη προσέγγιση αντιστοιχεί και στον μέσο αριθμό διπλών δεσμών [1]. Τέλος, στον Πίνακα 5.2 φαίνεται και το μέσο μήκος της ανθρακικής αλυσίδας, όπου με εξαίρεση το έλαιο Babassu και το κοκκοφοινικέλαιο, όλα τα υπόλοιπα έλαια έχουν περίπου 17 με 18 άτομα άνθρακα κατά μέσο όρο.

Παρατηρείται πως στα έλαια που έχουν μικρά ποσοστά λινολεϊκού και λινολενικού οξέος (π.χ. το κοκκοφοινικέλαιο και εν συνεχεία το έλαιο Babassu), ο «μη ισοσταθμισμένος» και ο «μερικώς ισοσταθμισμένος» ή ακόμα και ο «ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας δεν διαφέρουν πολύ. Ομοίως, για εκείνα τα φυτικά έλαια που η πλειονότητα των ακόρεστων λιπαρών οξέων είναι το 18:1 ολεϊκό και το 18:2 λινολεϊκό οξύ (όπως το αραβοσιτέλαιο, το βαμβακέλαιο, το ελαιόλαδο κ.τ.λ., βλέπε και Σχήμα 5.2), ο «μερικώς ισοσταθμισμένος» και ο «ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας διαφέρουν ελάχιστα ή είναι και ίσοι. Η ύπαρξη ακόρεστων λιπαρών οξέων με 3 ή περισσότερους διπλούς δεσμούς (π.χ. λινολενικό οξύ) αντικατοπτρίζεται στις διαφορές μεταξύ του «μερικώς ισοσταθμισμένου» και του «ισοσταθμισμένου» βαθμού ακορεστότητας στον Πίνακα 5.2. Οι πιο προφανείς

περιπτώσεις που αυτό γίνεται αντιληπτό είναι σε εκείνα τα φυτικά έλαια που είναι πλούσια σε λινολενικό οξύ, όπως το λινέλαιο ή το έλαιο rubber-seed.

Επίσης στον Πίνακα 5.2 φαίνονται και οι μέσες τιμές ακορεστότητας από όλα τα φυτικά έλαια και οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων βαθμών ακορεστότητας με τον αριθμό ιωδίου του φυτικού ελαίου. Εδώ φαίνεται πως ο «ισοσταθμισμένος» βαθμός ακορεστότητας, ή αλλιώς η μέση τιμή του αριθμού διπλών δεσμών στο μόριο, εμφανίζει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με τον αριθμό ιωδίου γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε και στη συνέχεια (βλ. Κεφάλαιο 6) για την εύρεση πιθανής συσχέτισής του με τις υπόλοιπες φυσικο-χημικές ιδιότητες των ελαίων.

5.3. Σύγκριση σύστασης σε λιπαρά οξέα των ελαίων με αυτήν του βιοντίζελ

Μια τελευταία παρατήρηση αξίζει να γίνει και στην διαφορά μεταξύ της σύστασης σε λιπαρά οξέα των φυτικών ελαίων και του βιοντίζελ. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για το βιοντίζελ [1] με αυτά της παρούσας διπλωματικής, παρατηρήσαμε πως η διαφορά αυτή είναι πρακτικά αμελητέα καθώς όπως εξηγήθηκε και στην Παράγραφο 2.3, η διαδικασία της μετεστεροποίησης δεν επηρεάζει την ανθρακική αλυσίδα των λιπαρών οξέων ενός φυτικού ελαίου (δηλαδή τα άτομα άνθρακα ή τους διπλούς δεσμούς), απλώς τα απελευθερώνει από την γλυκερίνη με αποτέλεσμα αυτά να θεωρούνται πλέον εστέρες (με ονομασία μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων ή fatty acids methyl esters/FAMES). Συμπερασματικά οι βαθμοί ακορεστότητας είναι πρακτικά ίδιοι και, όπως θα δειχθεί και στο επόμενο Κεφάλαιο, οι αριθμοί ιωδίου δεν διαφέρουν πολύ.

Πίνακας 5.2. Διάφοροι βαθμοί ακορεστότητας για όλα τα φυτικά έλαια, και η συσχέτισή τους με τον αριθμό ιωδίου.

Φυτικά Έλαια	Μη ισοσταθμισμένος βαθμός ακορεστότητας (%) *	Μερικώς ισοσταθμισμένος βαθμός ακορεστότητας **	Ισοσταθμισμένος	Μέσο μήκος ανθρακικής αλυσίδας	Αριθμός ιωδίου
			βαθμός ακορεστότητας (μέση τιμή αριθμού διπλών δεσμών) ***		
Έλαιο Babassu	0,16	0,18	0,18	13,62	21,7
Έλαιο Canola	0,92	1,24	1,33	17,99	109,3
Καστορέλαιο	0,97	1,03	1,03	17,99	85,3
Κοκκοφοινικέλαιο	0,09	0,12	0,12	13,13	9,4
Αραβοσιτέλαιο	0,86	1,45	1,45	17,79	120,5
Βαμβακέλαιο	0,72	1,27	1,27	17,47	119,1
Φουντουκέλαιο	0,90	1,01	1,02	17,87	-
Έλαιο Jatropha	0,77	1,15	1,15	17,75	100,2
Έλαιο Karanja	0,75	1,00	1,02	18,08	87,4
Λινέλαιο	0,91	1,61	2,15	17,91	171,9
Έλαιο Mahua	0,54	0,69	0,69	17,57	71,7
Έλαιο Neem	0,64	0,83	0,83	17,66	72,1
Ελαιόλαδο	0,85	0,96	0,97	17,79	88,2
Φοινικέλαιο	0,51	0,62	0,62	17,09	43,2
Φιστικέλαιο	0,82	1,16	1,16	18,04	112,3
Κραμβέλαιο	0,93	1,22	1,30	18,01	110,5
Ρυζέλαιο	0,78	1,14	1,15	17,64	98,3
Έλαιο Rubber-seed	0,80	1,36	1,54	17,80	139,3
Καρθαμέλαιο	0,90	1,65	1,65	17,85	137,2
Σουσαμέλαιο	0,84	1,28	1,29	17,85	101,7
Σογιέλαιο	0,84	1,44	1,51	17,79	128,2
Ηλιέλαιο	0,89	1,57	1,57	17,92	119,4
Μέσες τιμές για όλα τα έλαια	0,75	1,13	1,14	17,39	97,5
Συσχέτιση με τον αριθμό ιωδίου	R²=0,708	R²=0,903	R²=0,966	R²=0,565	-

* Όλα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα θεωρούνται ότι έχουν την ίδια βαρύτητα

** Όλα τα ακόρεστα λιπαρά οξέα XX:y (όπου y≥2) έχουν βαρύτητα 2

*** Τα λιπαρά οξέα XX:2 έχουν βαρύτητα 2, τα λιπαρά οξέα XX:3 έχουν βαρύτητα 3 κλπ.

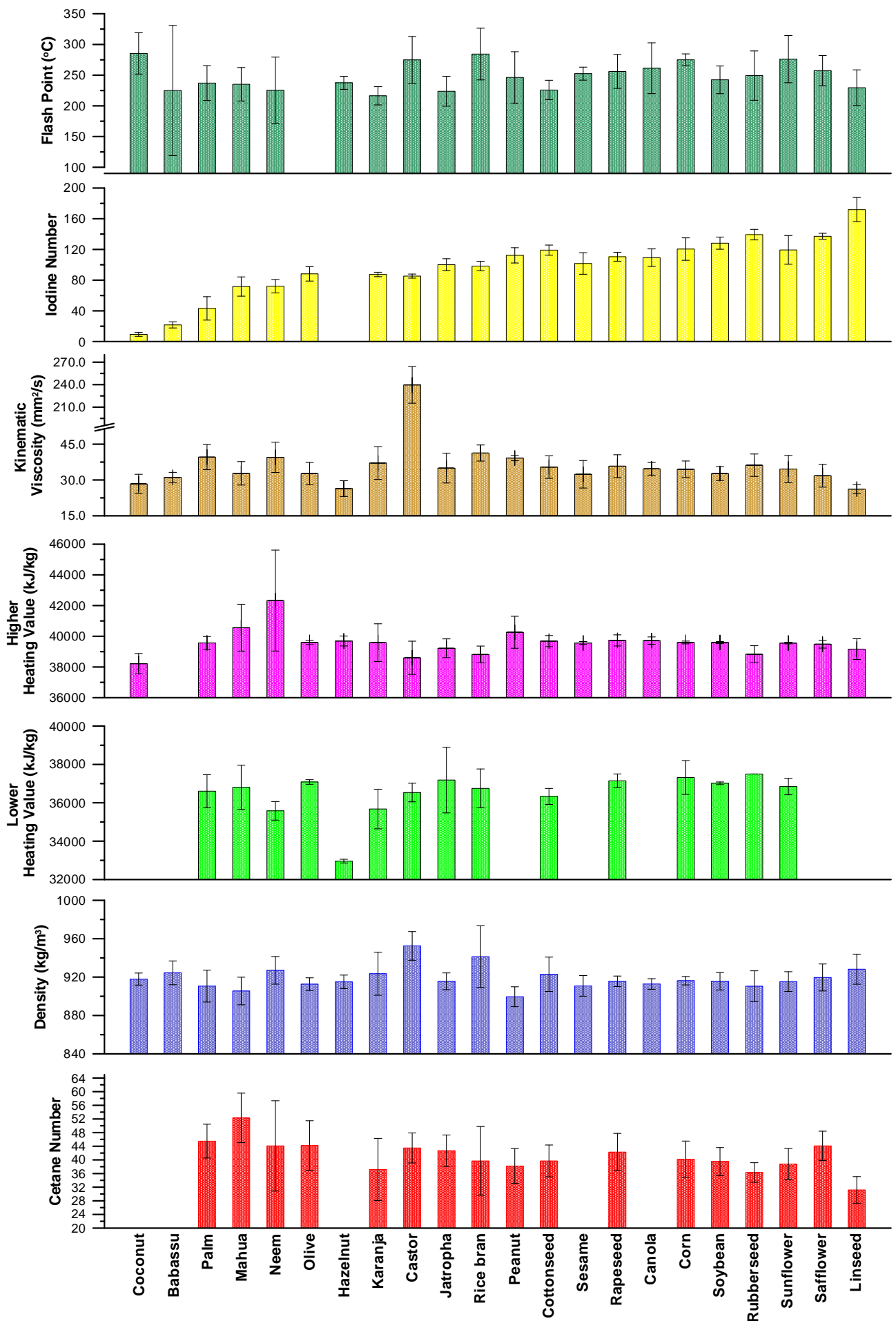
6. ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΦΥΣΙΚΟ / ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

6.1. Γενικά

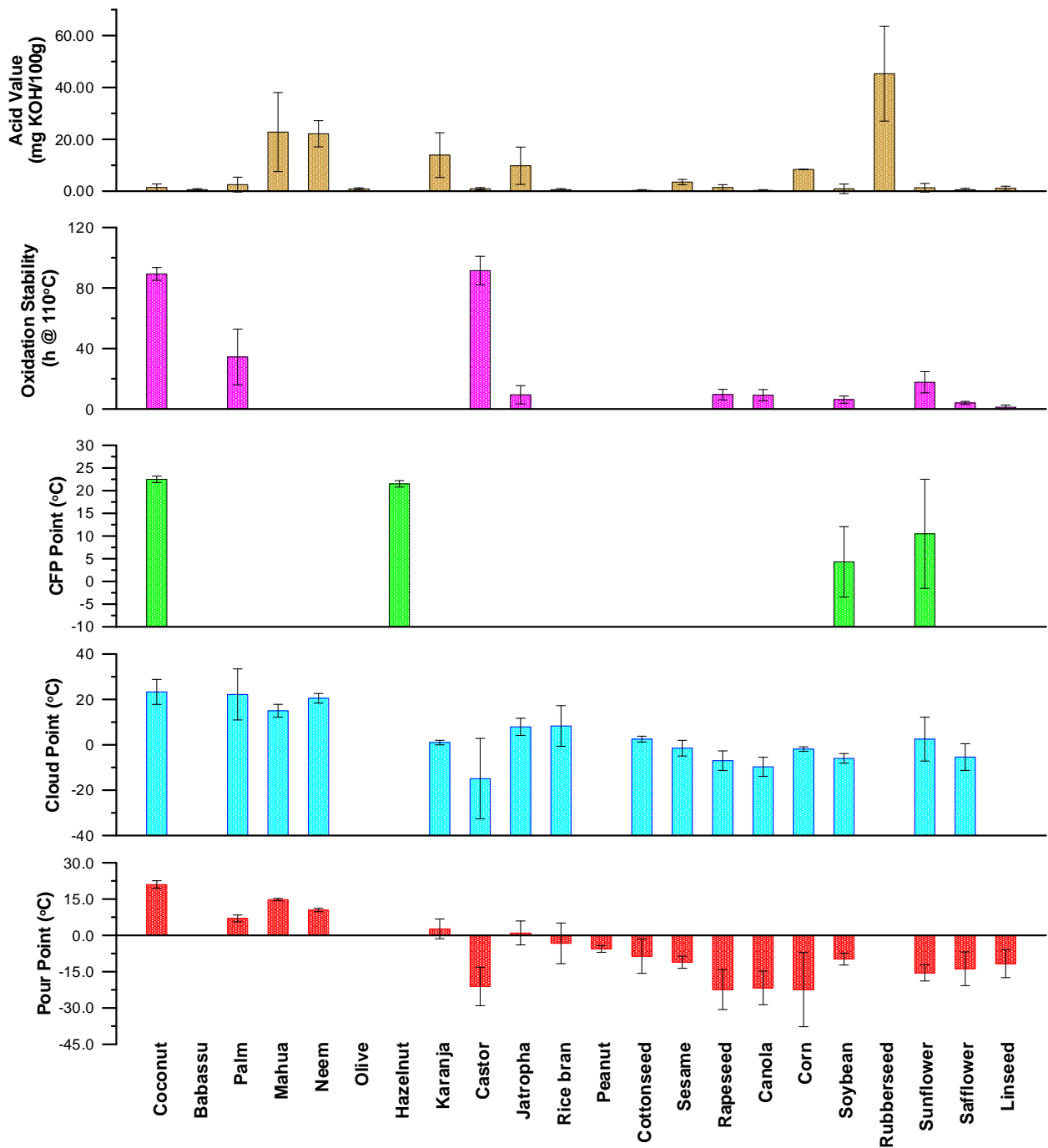
Ο Πίνακας 6.1 συνοψίζει τις μέσες τιμές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων όλων των φυτικών ελαίων που διερευνήθηκαν. Επίσης αναφέρονται και οι τυπικές αποκλίσεις σε παρενθέσεις. Το Σχήμα 6.1 γραφικά απεικονίζει τις παραπάνω τιμές ενώ και οι τυπικές αποκλίσεις φαίνονται με μορφή μπαρών. Επίσης στο παραπάνω σχήμα, τα έλαια ταξινομήθηκαν με σειρά αυξανόμενου ισοσταθμισμένου βαθμού ακορεστότητας από αριστερά προς τα δεξιά. Επίσης, στον Πίνακα 6.2 φαίνονται και οι συντελεστές συσχέτισης Pearson με σκοπό την ανάδειξη πιθανής συσχέτισης μεταξύ των διάφορων φυσικο-χημικών ιδιοτήτων.

Πίνακας 6.1. Συνολικές φυσικο-χημικές ιδιότητες των ελαίων (οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι τυπικές αποκλίσεις).

	Αριθμός κετανίου	Πυκνότητα (kg/m ³)	Κατώτερη θερμογό- νος δύναμη (kJ/kg)	Ανώτερη θερμογό- νος δύναμη (kJ/kg)	Κινηματική συνεκτικότη- τα (mm ² /s)	Σημείο ανάφλεξης (°C)	Σημείο απόγυσης (°C)	Σημείο θόλωσης (°C)	Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (°C)	Αριθμός ιωδίου	Οξειδωτική σταθερότητα (h)	Οξύτητα (mg KOH/g)	Ανθρα- κας (% w/w)	Υδρογό- νο (% w/w)	Οξυγόνο (% w/w)	Μοριακό βάρος (kg/kmol)
Έλαιο Babassu	-	924,4 (12,38)	-	-	31,1 (2,11)	225,0 (106,1)	-	-	-	21,7 (4,03)	-	0,61 (0,37)	-	-	-	-
Έλαιο Canola	-	912,8 (5,50)	-	39719 (238)	34,7 (2,64)	261,3 (41,4)	-21,7 (6,9)	-9,7 (4,2)	-	109,3 (11,41)	9,1 (3,75)	0,31 (0,26)	78,9 (1,83)	11,4 (0,72)	10,1 (2,09)	880,95 (1,48)
Καστορέλαιο	43,5 (4,40)	952,5 (14,97)	36535 (485)	38600 (1082)	239,7 (24,36)	274,9 (38,1)	-21,1 (8,0)	-14,9 (17,7)	-	85,3 (2,61)	81,5 (9,48)	0,94 (0,46)	-	-	-	887,56 (43,22)
Κοκκοφοινικέ- λαιο	-	917,9 (6,28)	-	38215 (661)	28,4 (4,00)	285,4 (33,6)	21,0 (1,6)	23,3 (5,5)	22,5 (0,7)	9,4 (2,57)	89,3 (4,25)	1,42 (1,39)	-	-	-	-
Αραβοσιτέλαιο	40,2 (5,32)	916,2 (4,37)	37317 (881)	39598 (90)	34,5 (3,45)	275,0 (9,6)	-22,4 (15,3)	-1,9 (1,0)	-	120,5 (14,64)	-	8,40 (2,97)	-	-	-	-
Βαμβακέλαιο	39,7 (4,66)	922,9 (17,91)	36333 (416)	39687 (364)	35,4 (4,70)	225,8 (15,8)	-8,6 (7,1)	2,5 (1,3)	-	119,1 (6,63)	-	0,30 (0,31)	77,2 (0,33)	11,9 (0,01)	10,6 (0,77)	859,60 (10,75)
Φουντουκέλαιο	-	915,0 (7,07)	32959 (98)	39693 (323)	26,4 (3,29)	237,5 (10,6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Έλαιο Jatropha	42,7 (4,59)	915,6 (8,71)	37187 (1712)	39221 (610)	35,0 (6,23)	223,8 (24,4)	1,0 (4,9)	7,9 (3,8)	21,5 (0,7)	100,2 (7,73)	9,4 (6,03)	9,81 (7,20)	76,6 (0,56)	10,4 (0,14)	11,7 (1,41)	853,17 (65,25)
Έλαιο Karanja	37,2 (9,11)	923,5 (22,44)	35676 (1032)	39588 (1228)	37,1 (6,85)	216,4 (14,8)	2,7 (4,1)	1,0 (1,0)	-	87,4 (2,89)	-	13,92 (8,60)	-	-	-	-
Λινέλαιο	31,2 (3,90)	928,2 (15,68)	-	39164 (674)	26,2 (1,90)	229,6 (29,0)	-11,7 (5,8)	-	-	171,9 (15,71)	1,2 (1,41)	1,09 (0,79)	-	-	-	-
Έλαιο Mahua	52,3 (7,26)	905,5 (14,40)	36805 (1153)	40561 (1527)	32,8 (4,90)	235,2 (27,3)	14,8 (0,5)	15,0 (2,8)	-	71,7 (12,54)	-	22,80 (15,25)	-	-	-	845,00 (49,50)
Έλαιο Neem	44,1 (13,24)	927,0 (14,38)	35581 (484)	42325 (3288)	39,5 (6,34)	225,4 (54,0)	10,5 (0,7)	20,5 (2,1)	-	72,1 (8,73)	-	22,15 (5,04)	-	-	-	-
Ελαιόλαδο	44,2 (7,28)	912,6 (6,59)	37085 (121)	39600 (141)	32,7 (4,66)	-	-	-	-	88,2 (9,39)	-	0,84 (0,47)	-	-	-	-
Φοινικέλαιο	45,5 (4,95)	910,6 (16,64)	36608 (862)	39568 (418)	39,6 (5,28)	237,1 (28,4)	7,0 (1,4)	22,2 (11,3)	-	43,2 (15,22)	34,4 (18,42)	2,54 (2,87)	78,2 (2,05)	12,2 (0,92)	9,7 (2,98)	-
Φιστικέλαιο	38,2 (5,09)	899,5 (10,35)	-	40263 (1040)	39,2 (1,13)	246,3 (41,9)	-5,6 (1,4)	-	-	112,3 (9,99)	-	-	-	-	-	-
Κραμβέλαιο	42,3 (5,46)	915,6 (5,48)	37145 (357)	39732 (361)	35,8 (4,78)	256,1 (27,7)	-22,4 (8,3)	-7,0 (4,3)	-	110,5 (5,81)	9,5 (3,51)	1,39 (1,12)	78,8 (1,39)	11,5 (0,22)	9,9 (1,12)	-
Ρυζέλαιο	39,7 (10,07)	941,3 (32,17)	36751 (1010)	38816 (545)	41,3 (3,36)	284,4 (42,1)	-3,3 (8,4)	8,3 (9,0)	-	98,3 (6,21)	-	0,59 (0,39)	-	-	-	-
Έλαιο Rubber- seed	36,3 (2,87)	910,4 (16,12)	37500 (0)	38832 (554)	36,2 (4,68)	249,3 (40,2)	-	-	-	139,3 (6,86)	-	45,32 (18,31)	-	-	-	-
Καρθαμέλαιο	44,1 (4,32)	919,6 (14,06)	-	39485 (254)	31,8 (4,76)	257,3 (24,7)	-13,8 (7,0)	-5,4 (5,9)	-	137,2 (3,82)	4,0 (1,04)	0,54 (0,61)	-	-	-	-
Σουσαμέλαιο	-	910,8 (10,73)	-	39565 (92)	32,4 (5,76)	252,5 (10,6)	-11,1 (2,5)	-1,5 (3,5)	-	101,7 (14,02)	-	3,52 (1,02)	-	-	-	-
Σογιέλαιο	39,5 (4,10)	915,6 (9,10)	37017 (69)	39594 (65)	32,7 (2,90)	242,4 (22,5)	-9,8 (2,4)	-6,0 (2,1)	4,3 (7,8)	128,2 (7,92)	6,2 (2,37)	0,94 (1,83)	77,6 (1,21)	11,2 (0,43)	10,7 (1,39)	876,12 (31,29)
Ηλιέλαιο	38,8 (4,54)	915,3 (10,30)	36848 (429)	39559 (51)	34,6 (5,70)	276,1 (38,4)	-15,5 (3,3)	2,5 (9,7)	10,5 (12,0)	119,4 (18,64)	17,7 (7,02)	1,33 (1,65)	77,8 (0,88)	11,6 (0,33)	10,7 (0,61)	875,51 (7,93)



Σχήμα 6.1. Συγκριτική απεικόνιση των μέσων τιμών των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων για τα διάφορα φυτικά έλαια και των αντίστοιχων τυπικών αποκλίσεων (Τα έλαια είναι ταξινομημένα με αύξουσα σειρά βαθμού ακορεστότητας).



Σχήμα 6.1 (συνέχεια). Συγκριτική απεικόνιση των μέσων τιμών των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων για τα διάφορα φυτικά έλαια και των αντίστοιχων τυπικών αποκλίσεων (Τα έλαια είναι ταξινομημένα με αύξουσα σειρά βαθμού ακορεστότητας).

Πίνακας 6.2. Συντελεστές συσχέτισης Pearson για τις σχέσεις μεταξύ των διάφορων φυσικο-χημικών ιδιοτήτων των φυτικών ελαίων (τονίζονται με πράσινο οι συντελεστές από 0,60 μέχρι 0,79 και με γαλάζιο οι συντελεστές από 0,80 και πάνω).

	Ακορεστότητα	Αριθμός κετανίου	Πυκνότητα	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	Ανώτερη θερμογόνος δύναμη	Κινηματική συνεκτικότητα	Σημείο ανάφλεξης	Αριθμός ιωδίου	Σημείο απόχυσης	Σημείο θόλωσης	Άνθρακας	Υδρογόνο	Οξυγόνο	Οξειδωτική σταθερότητα	Οξύτητα
Ακορεστότητα	1														
Αριθμός κετανίου	-0,74	1													
Πυκνότητα	0,01	-0,15	1												
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	0,34	-0,06	-0,09	1											
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη	-0,07	0,37	-0,26	-0,27	1										
Κινηματική συνεκτικότητα	-0,06	0,15	0,66	0,04	-0,25	1									
Σημείο ανάφλεξης	0,05	0,00	0,22	0,33	-0,49	0,28	1								
Αριθμός ιωδίου	0,98	-0,72	-0,04	0,51	-0,02	-0,08	-0,01	1							
Σημείο απόχυσης	-0,74	0,43	-0,18	-0,49	0,19	-0,28	-0,30	-0,72	1						
Σημείο θόλωσης	-0,71	0,55	-0,20	-0,28	0,29	-0,42	-0,24	-0,70	0,80	1					
Άνθρακας	-0,04	0,24	-0,50	0,06	0,76	0,22	0,65	-0,15	-0,59	-0,16	1				
Υδρογόνο	-0,35	0,13	-0,03	-0,77	0,68	0,58	0,19	-0,40	0,02	0,32	0,47	1			
Οξυγόνο	0,35	-0,37	0,38	0,34	-0,80	-0,53	-0,37	0,42	0,24	-0,18	-0,86	-0,80	1		
Οξειδωτική σταθερότητα	-0,74	0,39	0,55	-0,82	-0,85	0,65	0,64	-0,75	0,40	0,10	0,11	0,74	-0,47	1	
Οξύτητα	0,01	0,03	-0,27	0,05	0,26	-0,10	-0,26	0,09	0,54	0,06	-0,63	-0,72	0,70	-0,13	1

6.2. Αριθμός ιωδίου

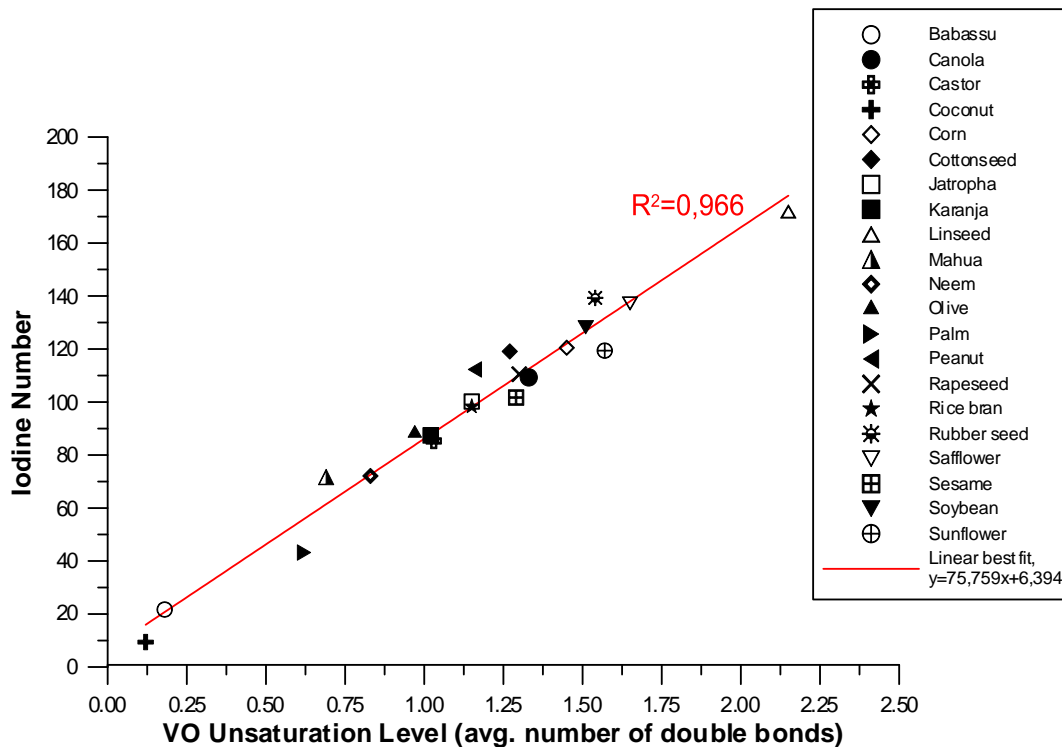
Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 6.1 οι μέσες τιμές του αριθμού ιωδίου που παρατηρήθηκαν στα εξεταζόμενα φυτικά έλαια κυμαίνονται από 9,4 (για το πιο κορεσμένο φυτικό έλαιο, το κοκκοφοινικέλαιο) μέχρι 171,9 (για το πιο ακόρεστο φυτικό έλαιο, το λινέλαιο), με την συνολική μέση τιμή να είναι 97,47. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο Κεφάλαιο, παρατηρείται μια πολύ ισχυρή σχέση μεταξύ του αριθμού ιωδίου και του βαθμού ακορεστότητας ($R^2=0,966$), το οποίο είναι εμφανές και στο Σχήμα 6.1 με τον αριθμό ιωδίου να αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά δεδομένης και της ταξινόμησης των ελαίων με αυξανόμενο βαθμό ακορεστότητας. Επίσης, στον Πίνακα 6.2 βλέπουμε πως ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι πολύ μεγάλος (0,98) πράγμα που επιβεβαιώνει τα προηγούμενα.

Έτσι, και ειδικά για τον αριθμό ιωδίου, μπορεί να γίνει μια πρόβλεψη όσον αφορά την τιμή του για ένα έλαιο αν γνωρίζουμε τη σύστασή του σε λιπαρά οξέα. Ας πάρουμε για παράδειγμα το φουντουκέλαιο, για το οποίο δε βρέθηκαν αρκετές αναφορές στην βιβλιογραφία όσον αφορά το αριθμό ιωδίου του και επομένως δεν έχουμε μέση τιμή. Παρ' όλα αυτά, δεδομένου ότι ο βαθμός ακορεστότητάς του (1,02) δεν διαφέρει από αυτόν του ελαίου Karanja και του καστορέλαιου (1,02 και 1,03 αντίστοιχα), μπορούμε να υποθέσουμε πως η τιμή του αριθμού ιωδίου του φουντουκέλαιου θα είναι κοντά σε αυτές των δύο παραπάνω ελαίων (περίπου 85 αν λάβουμε υπόψη τις τιμές από τον Πίνακα 6.1).

Στο Σχήμα 6.2 που ακολουθεί γίνεται γραφική αναπαράσταση της συσχέτισης του αριθμού ιωδίου (iodine number) με τον βαθμό ακορεστότητας φυτικών ελαίων (vegetable oil unsaturation level) ή αλλιώς τον μέσο αριθμό διπλών δεσμών (average number of double bonds) όπως εξηγήθηκε και παραπάνω. Οι αριθμοί ιωδίου προέρχονται από τον Πίνακα 6.1 ενώ οι βαθμοί ακορεστότητας αφορούν τους ισοσταθμισμένους όπως αυτοί υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 5. Επίσης δίνεται και η γραμμική Σχέση 6.1 που προσεγγίζει καλύτερα τα παραπάνω σημεία, που δείχνει την

συσχέτιση αριθμού ιωδίου με βαθμό ακορεστότητας: $y = 75,759 \cdot x + 6,394$ (6.1).

Έτσι π.χ. θέτοντας ως $x=1,02$ τον βαθμό ακορεστότητας του φουντουκέλαιου έχουμε $y=83,69$ αριθμό ιωδίου, αριθμός που είναι πολύ κοντά στην αρχική μας υπόθεση.



Σχήμα 6.2. Συσχέτιση μεταξύ του βαθμού ακορεστότητας και του μέσου αριθμού ιωδίου των φυτικών ελαίων.

Παρόμοιες τιμές του αριθμού ιωδίου παρατηρούνται και στο βιοντίζελ ενώ και εκεί η συσχέτιση του αριθμού ιωδίου με τον βαθμό ακορεστότητας είναι εξίσου μεγάλη. Οι τιμές του αριθμού ιωδίου ευρίσκονται μεταξύ 7,8 (για το κοκκοφοινικέλαιο) και 184,5 (για το λινέλαιο) με μέση τιμή το 98,4. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι και εκεί 0,98 ενώ και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι ιδιαίτερα υψηλός ($R^2=0,94$). [1]

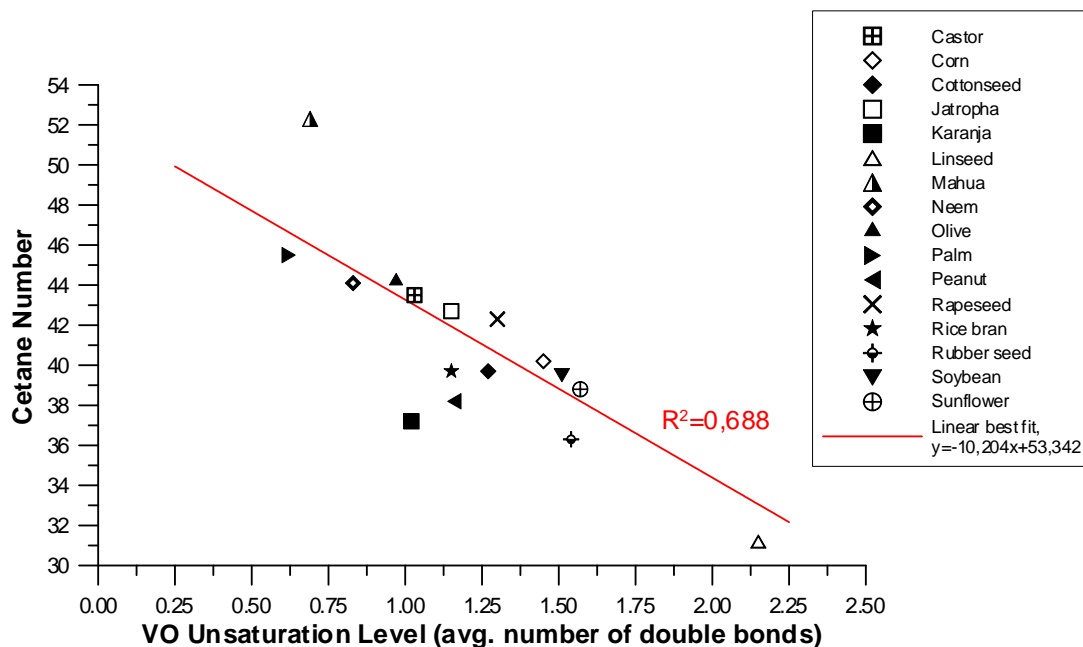
6.3. Αριθμός κετανίου

Οι τιμές του αριθμού κετανίου που παρατηρούνται στον Πίνακα 6.1 εμφανίζουν ελάχιστη τιμή το 31,2 (για το λινέλαιο) και μέγιστη τιμή το 52,3 (για το έλαιο Mahua) με μέση τιμή το 41,45. Γενικά, πάντως, παρατηρήσαμε την έλλειψη επαρκών δεδομένων για το συγκεκριμένο μέγεθος, πράγμα που είχε αντίκτυπο και στις τυπικές αποκλίσεις που είναι αρκετά μεγάλες. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι ο αριθμός κετανίου είναι μια ιδιότητα που αποδίδεται στα καύσιμα και επομένως, δεδομένου ότι τα φυτικά

έλαια συνήθως δεν χρησιμοποιούνται αμιγώς ως τέτοια, δεν υπάρχουν αρκετές μελέτες και έρευνες για την εύρεση της τιμής του αριθμού κετανίου σε αυτά (π.χ. για το κοκκοφοινικέλαιο, έλαιο Babassu, φουντουκέλαιο, σουσαμέλαιο και έλαιο Canola δεν βρέθηκε καμία τιμή).

Έχοντας τα παραπάνω υπόψιν, η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι παρατηρείται μια σχέση μεταξύ αριθμού κετανίου και βαθμού ακορεστότητας (συντελεστής συσχέτισης Pearson -0,74) και συνεπώς σχέση μεταξύ του αριθμού κετανίου και αριθμού ιωδίου (συντελεστής συσχέτισης Pearson -0,72). Για την ανάδειξη των παραπάνω σχέσεων χαράχθηκαν τα Σχήματα 6.3 και 6.4. Στο Σχήμα 6.3 παρατηρούμε μια πτωτική τάση του αριθμού κετανίου όσο αυξάνει ο βαθμός ακορεστότητας με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,688$ ενώ εξαιρέθηκε το καρθαμέλαιο, καθώς παρ' ότι παρουσιάζει παρόμοιο βαθμό ακορεστότητας με το λινέλαιο η τιμή του αριθμού κετανίου του είναι αρκετά υψηλή όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.1. Η γραμμική σχέση που προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα είναι η 6.2, που δείχνει την

συσχέτιση αριθμού κετανίου με βαθμό ακορεστότητας: $y = - 10,204 \cdot x + 53,342$ (6.2).

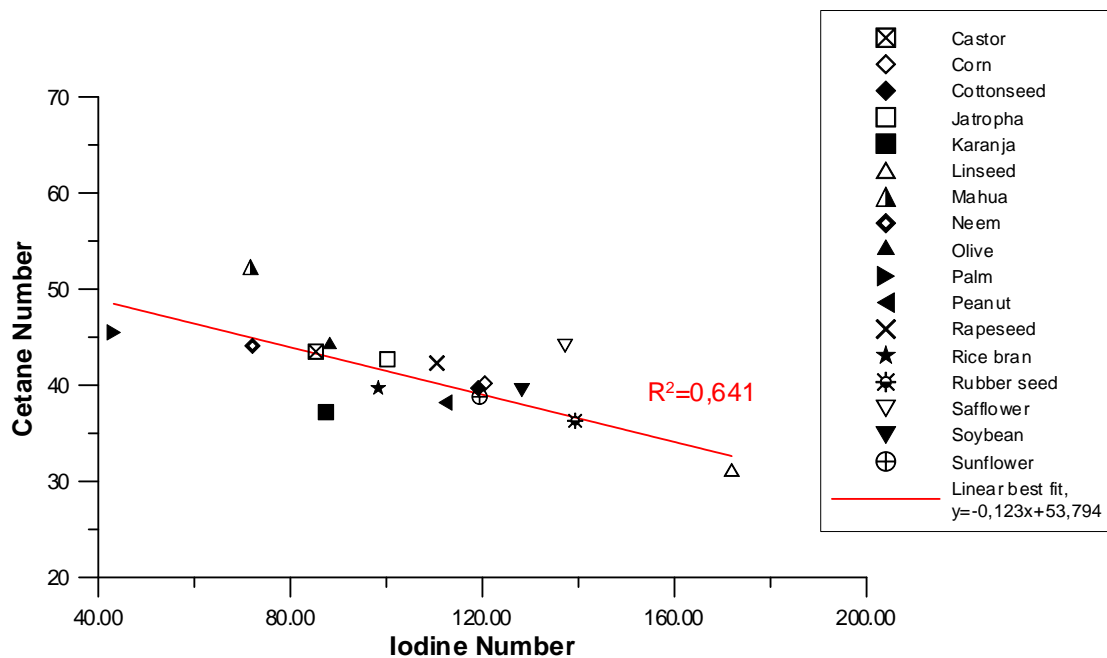


Σχήμα 6.3. Συσχέτιση μεταξύ του βαθμού ακορεστότητας και του μέσου αριθμού κετανίου των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καρθαμέλαιο).

Το Σχήμα 6.4 δείχνει επίσης την ίδια πτωτική τάση του αριθμού κετανίου όσο αυξάνεται ο αριθμός ιωδίου, το οποίο είναι και λογικό αν λάβει κανείς υπόψη τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για τη σχέση του αριθμού ιωδίου με τον βαθμό ακορεστότητας. Για τους ίδιους λόγους με παραπάνω εξαιρέθηκε το καρθαμέλαιο. Έτσι η γραμμική σχέση που προσεγγίζει τα παρακάτω σημεία είναι η 6.3, που δείχνει την

συσχέτιση αριθμού κετανίου με τον αριθμό ιωδίου: $y = -0,123 \cdot x + 53,794$ (6.3)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,641$.



Σχήμα 6.4. Συσχέτιση μεταξύ του μέσου αριθμού κετανίου και του μέσου αριθμού ιωδίου των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καρθαμέλαιο).

Οι αντίστοιχες τιμές του αριθμού κετανίου που παρατηρούνται στο βιοντίζελ είναι αρκετά μεγαλύτερες και κυμαίνονται από 50,4 (για το έλαιο rubber-seed) μέχρι 61,2 (για το φοινικέλαιο) ενώ η μέση τιμή είναι 54,8, περίπου 8-10% μεγαλύτερο αυτού του συμβατικού diesel. Η σχέση που παρατηρείται μεταξύ του αριθμού κετανίου και του βαθμού ακορεστότητας είναι μεγαλύτερη στο βιοντίζελ ($R^2=0,79$) παρ' όλα αυτά επιβεβαιώνει τη συσχέτιση που παρατηρήθηκε παραπάνω στα φυτικά έλαια. [1]

6.4. Πυκνότητα

Οι μέσες τιμές της πυκνότητας των 22 φυτικών ελαίων κυμαίνονται από 899,5 (για το φυσικέλαιο) μέχρι 952,5 kg/m³ (για το καστορέλαιο), ενώ η συνολική μέση τιμή είναι 918,76 kg/m³ (αρκετά μεγαλύτερες αυτού του συμβατικού diesel, περίπου 870 kg/m³). Τα φυτικά έλαια που ξεχωρίζουν αρκετά είναι το καστορέλαιο και το ρυζέλαιο με τιμές αρκετά πάνω από τη μέση τιμή.

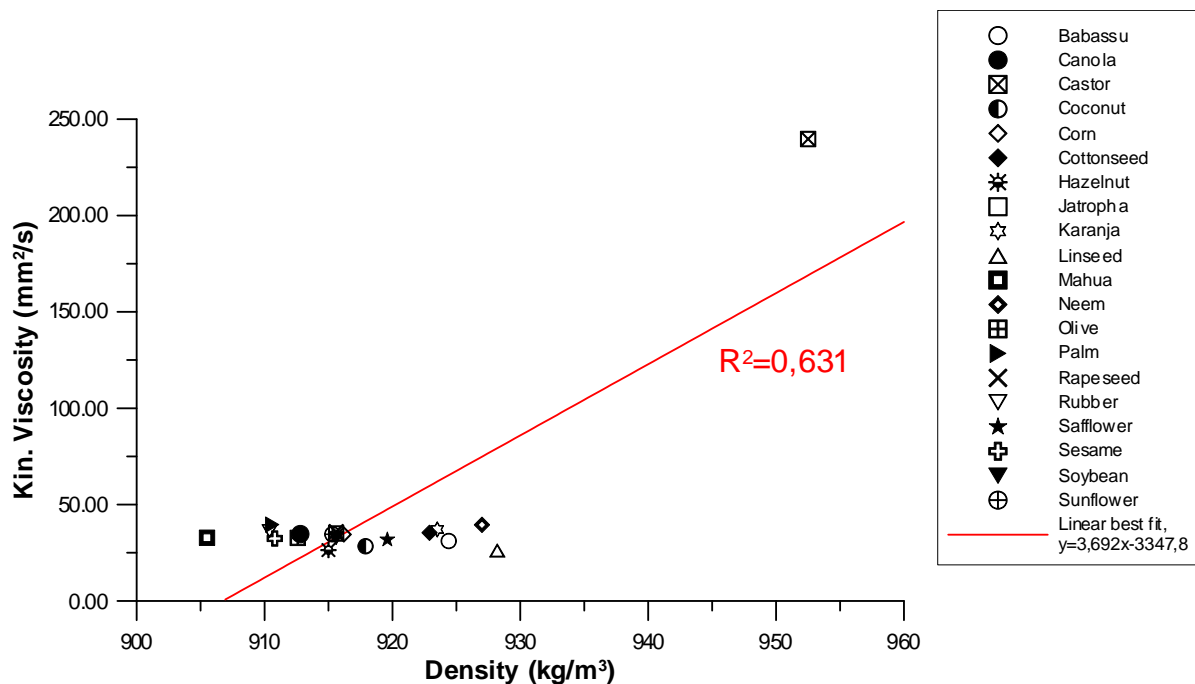
Με μια πρώτη ματιά, το Σχήμα 6.1 δεν δείχνει κάποια σχέση μεταξύ της πυκνότητας και του βαθμού ακορεστότητας ενώ στη συνέχεια ούτε ο Πίνακας 6.2 με τους συντελεστές συσχέτισης Pearson φανερώνει κάτι τέτοιο. Εκεί που φαίνεται να υπάρχει σχέση είναι μεταξύ της πυκνότητας και της κινηματικής συνεκτικότητας, όπως θα αναλυθεί και στην επόμενη Παράγραφο 6.1.4.

Στο βιοντίζελ οι τιμές της πυκνότητας είναι μικρότερες, με την ελάχιστη τιμή να είναι 870,8 kg/m³ και την μέγιστη 891,5 kg/m³. Η συνολική μέση τιμή φτάνει τα 880,2 kg/m³, αρκετά παραπλήσια με αυτή του πετρελαίου, με μόνη εξαίρεση το καστορέλαιο που όπως και στα φυτικά έλαια παρουσιάζει τιμή αρκετά μεγαλύτερη από την μέση τιμή (917,6 kg/m³). Αντίθετα με τα φυτικά έλαια, στο βιοντίζελ παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας και του βαθμού ακορεστότητας (υψηλή ακορεστότητα οδηγεί σε υψηλή πυκνότητα) με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($R^2=0,87$). Επίσης συσχέτιση υπάρχει και με τον αριθμό ιωδίου αν και σε μικρότερο βαθμό ($R^2=0,58$), ενώ και ο αριθμός κετανίου συνδέεται με την πυκνότητα ($R^2=0,57$) με την υψηλή πυκνότητα να προσδίδει χαμηλό αριθμό κετανίου. Πιθανοί λόγοι των διαφορών που παρατηρούνται στην πυκνότητα μεταξύ των φυτικών ελαίων και του βιοντίζελ είναι ίσως η γλυκερίνη και/ή η διαδικασία της μετεστεροποίησης. [1]

6.5. Κινηματική συνεκτικότητα

Η κινηματική συνεκτικότητα στα φυτικά έλαια παρουσιάζει τιμές από 26,2 mm²/s (για το λινέλαιο) μέχρι 41,3 mm²/s (για το ρυζέλαιο), όπου η μέση τιμή βρίσκεται στα 34,16 mm²/s. Το έλαιο που ξεχωρίζει είναι το καστορέλαιο με κινηματική συνεκτικότητα 239,7 mm²/s, κυρίως λόγω της περιεκτικότητάς του σε ρικινολεικό οξύ.

Όπως παρατηρήσαμε και στην προηγούμενη Παράγραφο η κινηματική συνεκτικότητα εμφανίζει συσχέτιση με την πυκνότητα (συντελεστής συσχέτισης Pearson 0,66). Το Σχήμα 6.5 δείχνει την προαναφερόμενη σχέση ενώ στην γραφική αναπαράσταση εξαιρέθηκαν το φυστικέλαιο και το ρυζέλαιο.



Σχήμα 6.5. Συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας και της κινηματικής συνεκτικότητας των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το φυστικέλαιο και το ρυζέλαιο).

Η σχέση που συνδέει καλύτερα τα παραπάνω σημεία είναι η γραμμική Σχέση 6.4, που δείχνει την

συσχέτιση κινηματικής συνεκτικότητας με πυκνότητα: $y = 3,692 \cdot x - 3347$ (6.4)

και ο συντελεστής προσδιορισμού της είναι $R^2=0,631$.

Γενικά, όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 2, οι τιμές της κινηματικής συνεκτικότητας των φυτικών ελαίων είναι πολύ μεγάλες (μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερες από τις αποδεκτές τιμές του συμβατικού diesel), πράγμα που προκαλεί προβλήματα στις μηχανές εσωτερικής καύσης, γι' αυτό χρησιμοποιείται η διαδικασία της μετεστεροποίησης που μετατρέπει το φυτικό έλαιο σε βιοντίζελ με παράλληλη μείωση της κινηματικής συνεκτικότητας σε τιμές αποδεκτές από τα διεθνή πρότυπα ποιότητας. Οι τιμές συνεκτικότητας που παρατηρούνται στο βιοντίζελ, εκτός του

καστορέλαιου που εμφανίζει τιμή 14,5 mm²/s, είναι από 2,78 mm²/s μέχρι 5,06 mm²/s, με την μέση τιμή να βρίσκεται στα 4,55 mm²/s. Επίσης στο βιοντίζελ φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της κινηματικής συνεκτικότητας και του βαθμού ακορεστότητας ($R^2=0,57$), που δείχνει πως όσο μειώνεται η κινηματική συνεκτικότητα τόσο αυξάνει η ακορεστότητα. Παρατηρείται ακόμα, παρόμοια σχέση μεταξύ κινηματικής συνεκτικότητας και πυκνότητας του βιοντίζελ ($R^2=0,64$), όμως η σχέση είναι αντίστροφη από αυτήν που παρατηρήθηκε παραπάνω στα φυτικά έλαια. Όσο μεγαλώνει η συνεκτικότητα, τόσο μειώνεται η πυκνότητα. [1]

6.6. Θερμογόνος δύναμη

Όπως και με τον αριθμό κετανίου, έτσι και για το συγκεκριμένο μέγεθος δεν παρατηρήθηκαν αρκετά δεδομένα για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων. Σε 7 από τα 22 φυτικά έλαια που αναλύθηκαν δε κατέστη δυνατή η εύρεση τιμών για την κατώτερη θερμογόνο δύναμη, ενώ και το μέγεθος δείγματος για τα υπόλοιπα δεν ήταν μεγάλο. Επίσης εμπόδιο στάθηκε και ο μη διαχωρισμός της θερμογόνου δύναμης σε κατώτερη και ανώτερη στην διεθνή βιβλιογραφία. Η καλύτερη δυνατή προσπάθεια έγινε στην εξαγωγή των παρακάτω τιμών.

Οι τιμές της κατώτερης θερμογόνου δύναμης κυμαίνονται από 35.581 (για το έλαιο Neem) μέχρι 37.500 kJ/kg (έλαιο Rubber-seed), με μια μέση τιμή της τάξης των 36.742 kJ/kg. Από τα παραπάνω μεγέθη εξαιρείται το φουντουκέλαιο με τιμή 32.959 kJ/kg. Για την ανώτερη θερμογόνο δύναμη οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται από 38.215 (για το κοκκοφοινικέλαιο) μέχρι 40.561 kJ/kg (για το έλαιο Mahua) και η μέση τιμή είναι 39.453 kJ/kg. Εξαιρέθηκε η τιμή 42.325 kJ/kg του ελαίου Neem καθώς παρουσιάζει μεγάλη τυπική απόκλιση (Πίνακας 6.1). Οι συσχετίσεις των παραπάνω μεγεθών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2, είναι κυρίως με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο καθώς αυτά επηρεάζουν την καύση ενώ δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση με άλλα μεγέθη.

Αντίθετα στο βιοντίζελ παρατηρείται μια συσχέτιση της θερμογόνου δύναμης με τον βαθμό ακορεστότητας, που είναι πιο ισχυρή για την κατώτερη θερμογόνο δύναμη ($R^2=0,59$ για την κατώτερη και $R^2=0,42$ για την ανώτερη θερμογόνο δύναμη). Η σχέση αυτή δείχνει πως όσο αυξάνει ο βαθμός ακορεστότητας τόσο αυξάνει και η

θερμογόνος δύναμη. Οι τιμές της θερμογόνου δύναμης σε βιοντίζελ και φυτικά έλαια δε διαφέρουν πολύ. [1]

6.7. Σημείο ανάφλεξης

Οι τιμές σημείου ανάφλεξης που παρατηρήθηκαν, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1, κυμαίνονται από 216,4°C (για το έλαιο Karanja) μέχρι 285,4°C (για το κοκκοφοινικέλαιο), με συνολική μέση τιμή για τα φυτικά έλαια τους 248,4°C. Δε φαίνεται από τον Πίνακα 6.2 κάποια σχέση μεταξύ του σημείου ανάφλεξης και των προηγούμενων ιδιοτήτων, όπως π.χ. με τον βαθμό ακορεστότητας, αλλά φαίνεται πως υπάρχει μια συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε άνθρακα και με την οξειδωτική σταθερότητα. Τα προαναφερθέντα συμπεράσματα βέβαια δεν είναι ασφαλή καθώς παρατηρούνται μεγάλες τυπικές αποκλίσεις στην συγκεκριμένη ιδιότητα.

Οι αντίστοιχες τιμές σημείου ανάφλεξης στο βιοντίζελ είναι αρκετά χαμηλότερες, με την χαμηλότερη να είναι 127,7°C (για το κοκκοφοινικέλαιο) και την υψηλότερη να βρίσκεται στους 174,5°C (για το φυστικέλαιο). Η μέση τιμή είναι οι 163,3°C. Αντίστοιχα και με τα φυτικά έλαια, έτσι και στο βιοντίζελ δε παρατηρείται κάποια ισχυρή σχέση μεταξύ του σημείου ανάφλεξης και των υπόλοιπων ιδιοτήτων. [1]

6.8. Ιδιότητες ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες

Η συγκεκριμένη κατηγορία αφορά το σημείο θόλωσης, το σημείο απόχυσης και το σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου. Η τελευταία ιδιότητα δε λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση λόγω των περιορισμένων δεδομένων που βρέθηκαν.

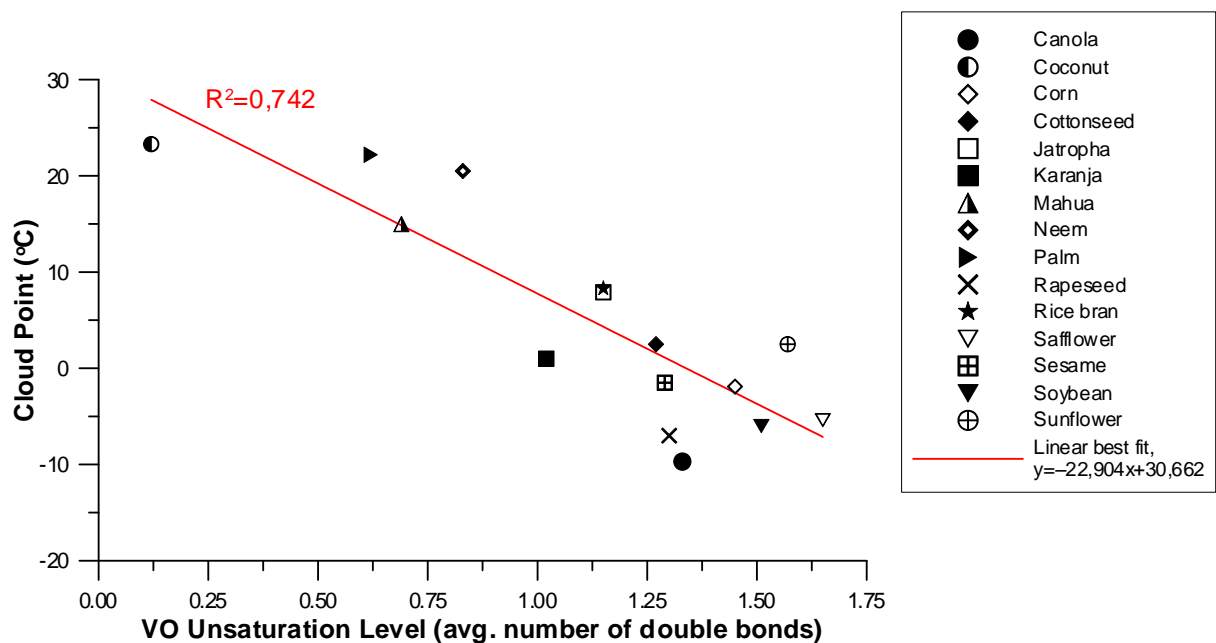
Για το σημείο θόλωσης οι τιμές που βρέθηκαν κυμαίνονται από -9,7°C (για το έλαιο Canola) μέχρι 23,3°C (για το κοκκοφοινικέλαιο), με μέση τιμή τους 4,78°C. Το καστορέλαιο εμφανίζει σημείο θόλωσης -14,9°C αλλά με εξαιρετικά μεγάλη τυπική απόκλιση. Όσον αφορά τη συσχέτιση του σημείου θόλωσης με τις άλλες ιδιότητες, βλέπουμε από τον Πίνακα 6.2 ότι υπάρχει σύνδεση με το βαθμό ακορεστότητας, άρα και με τον αριθμό ιωδίου, και με το σημείο απόχυσης. Στο Σχήμα 6.6 φαίνεται η συσχέτιση του σημείου θόλωσης με τον βαθμό ακορεστότητας (εξαιρέθηκε το

καστορέλαιο λόγω της μεγάλης τυπικής απόκλισης). Φαίνεται πως όσο ο βαθμός ακορεστότητας αυξάνει τόσο μειώνεται το σημείο θόλωσης.

Δίνεται και η γραμμική Σχέση 6.5 που προσεγγίζει καλύτερα τα σημεία και δείχνει την

συσχέτιση σημείου θόλωσης με βαθμό ακορεστότητας: $y = -22,904 \cdot x + 30,662$ (6.5)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,742$.

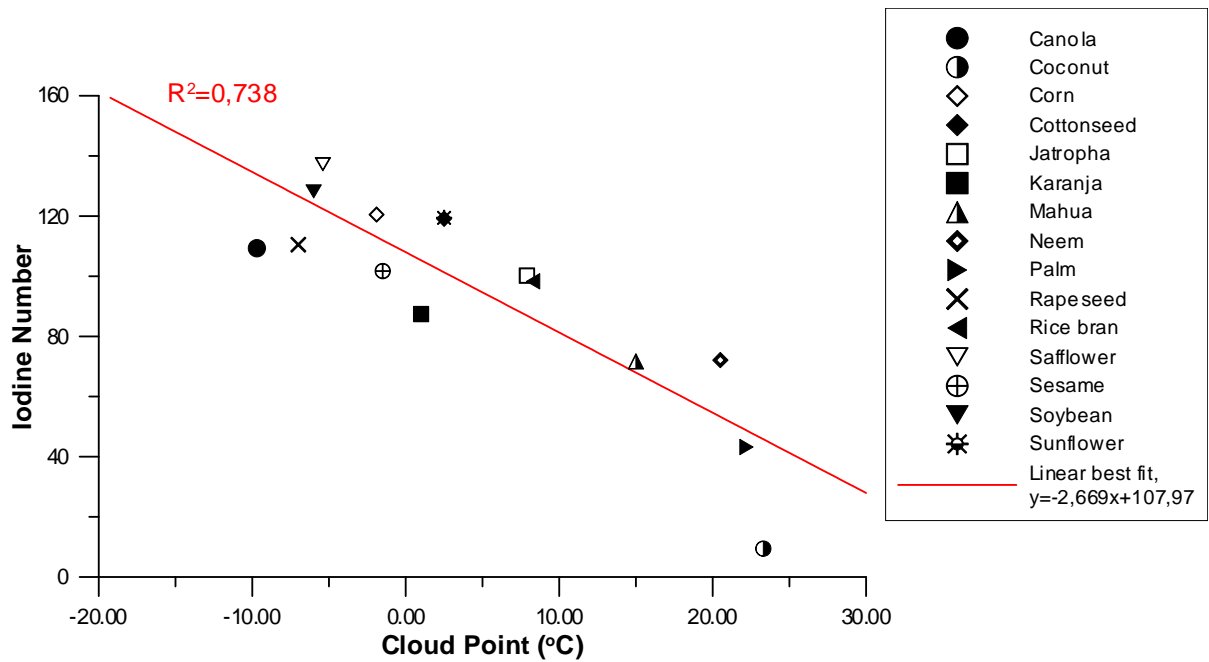


Σχήμα 6.6. Συσχέτιση μεταξύ του σημείου θόλωσης και του βαθμού ακορεστότητας των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καστορέλαιο).

Παρόμοια είναι και η σχέση με τον αριθμό ιωδίου, δηλαδή όσο ο αριθμός ιωδίου αυξάνει τόσο ελαττώνεται το σημείο θόλωσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.7 που ακολουθεί. Η γραμμική σχέση που συνδέει καλύτερα τα μεγέθη είναι η Σχέση 6.6, που δείχνει την

συσχέτιση σημείου θόλωσης με αριθμό ιωδίου: $y = -2,669 \cdot x + 107,97$ (6.6)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,738$.

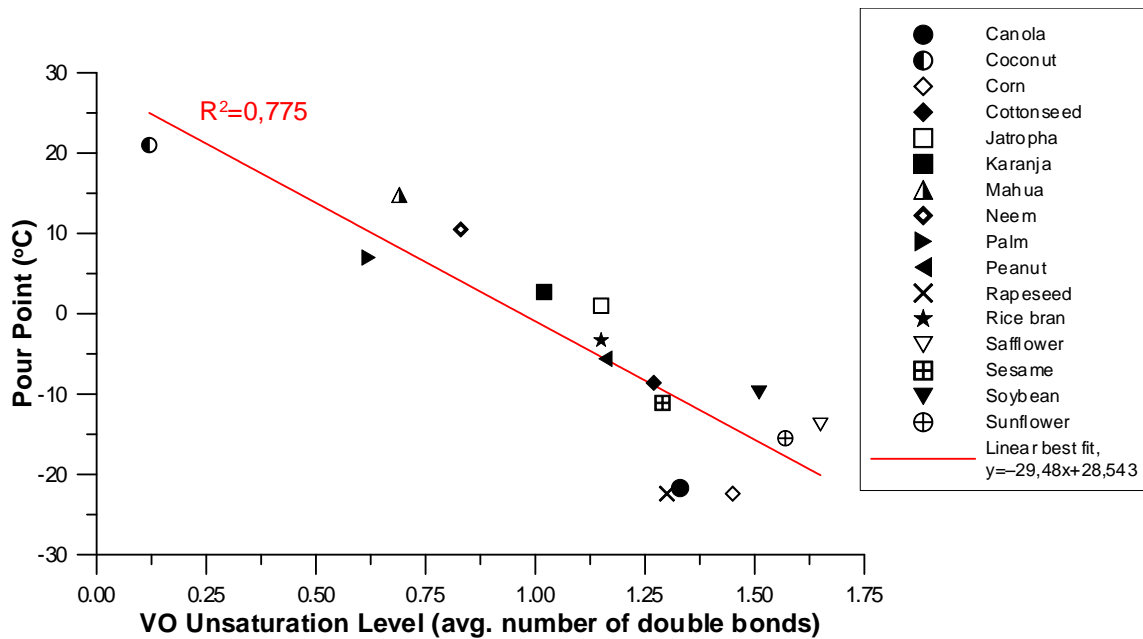


Σχήμα 6.7. Συσχέτιση μεταξύ του σημείου θόλωσης και του βαθμού ιωδίου των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καστορέλαιο).

Για το σημείο απόχυσης οι τιμές που βρέθηκαν κυμαίνονται από $-22,4^{\circ}\text{C}$ (για το κραμβέλαιο) μέχρι 21°C (για το κοκκοφοινικέλαιο), με μέση τιμή τους $-6,11^{\circ}\text{C}$. Αντίστοιχα με το σημείο θόλωσης, έτσι και το σημείο απόχυσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2, παρουσιάζει συσχέτιση με το βαθμό ακορεστότητας άρα και τον αριθμό ιωδίου. Παρακάτω παρουσιάζεται το Σχήμα 6.8 που δείχνει την συσχέτιση μεταξύ του σημείου απόχυσης και του βαθμού ακορεστότητας. Τα φυτικά έλαια που δεν λήφθηκαν υπόψη είναι το καστορέλαιο, που όπως φάνηκε και σε άλλες ιδιότητες παρουσιάζει ιδιόμορφη συμπεριφορά, και το λινέλαιο. Η Σχέση 6.7 προσεγγίζει καλύτερα τα σημεία και δείχνει την

συσχέτιση σημείου απόχυσης με βαθμό ακορεστότητας: $y = - 29,48 \cdot x + 28,543$ (6.7)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,738$. Όπως παρατηρούμε, αύξηση της ακορεστότητας οδηγεί σε χαμηλότερο σημείο απόχυσης.



Σχήμα 6.8. Συσχέτιση μεταξύ του σημείου απόχυσης και του βαθμού ακορεστότητας των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καστορέλαιο και το λινέλαιο).

Παρόμοια είναι και η σχέση με τον αριθμό ιωδίου, δηλαδή όσο ο αριθμός ιωδίου αυξάνει τόσο ελαττώνεται το σημείο απόχυσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.9 που ακολουθεί. Εξίσου δεν συμπεριλήφθηκαν στο παρακάτω διάγραμμα στοιχεία από το καστορέλαιο και το λινέλαιο. Η γραμμική σχέση που συνδέει καλύτερα τα μεγέθη είναι η Σχέση 6.8, που δείχνει την

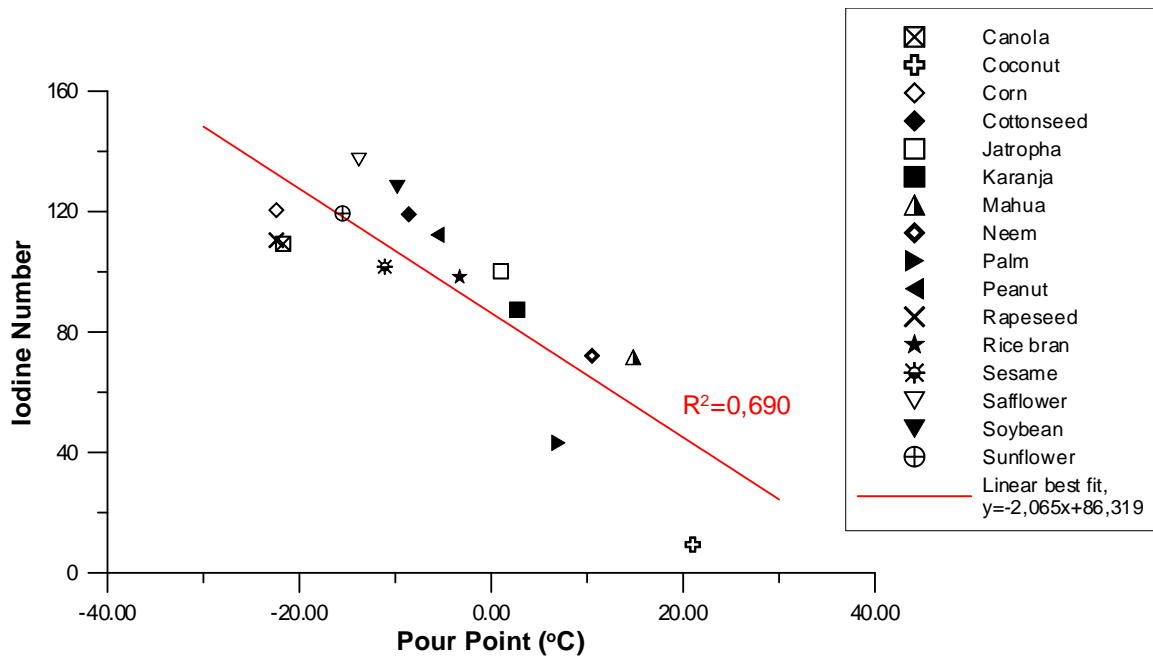
συσχέτιση σημείου απόχυσης και αριθμού ιωδίου: $y = - 2,065 \cdot x + 86,319$ (6.8)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,690$.

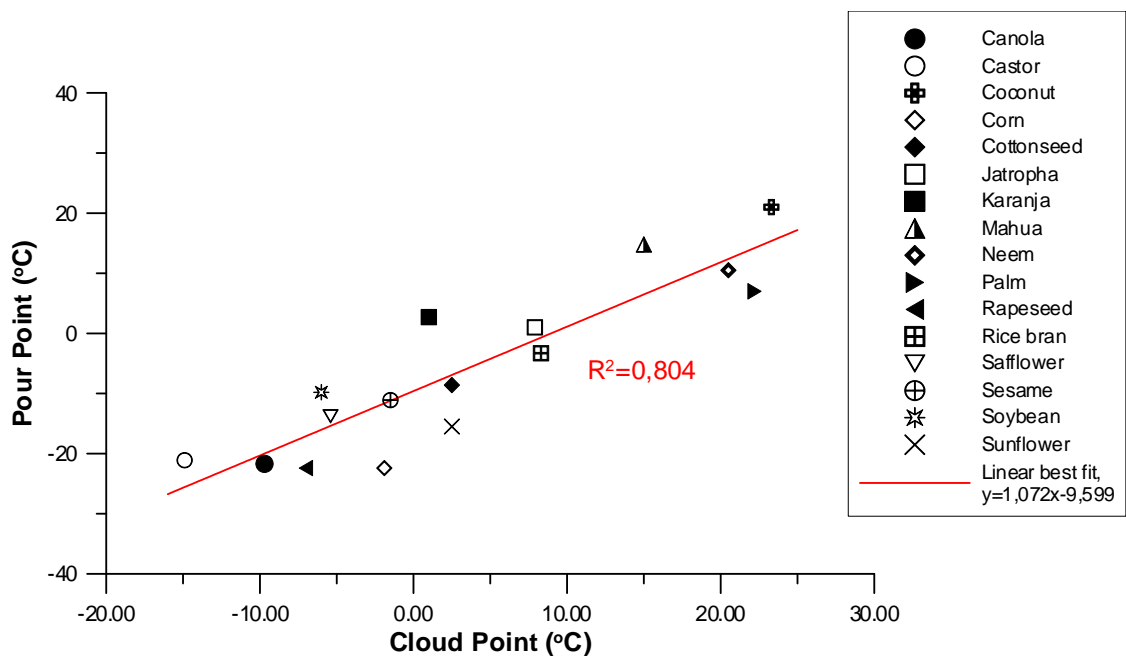
Τα δύο μεγέθη, σημείο απόχυσης και σημείο θόλωσης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω συνδέονται μεταξύ τους, κάτι που φαίνεται και στο Σχήμα 6.10. Η γραμμική σχέση που τα προσεγγίζει καλύτερα είναι η Σχέση 6.9, που δείχνει την

συσχέτιση σημείου απόχυσης και σημείου θόλωσης: $y = 1,072 \cdot x + 9,599$ (6.9)

με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,804$.



Σχήμα 6.9. Συσχέτιση μεταξύ του σημείου απόχυσης και του βαθμού ιωδίου των φυτικών ελαίων (εξαιρείται το καστορέλαιο και το λινέλαιο).



Σχήμα 6.10. Συσχέτιση μεταξύ του σημείου απόχυσης και του σημείου θόλωσης των φυτικών ελαίων.

Αντίστοιχες είναι οι τιμές των παραπάνω ιδιοτήτων και στο βιοντίζελ. Για το σημείο θόλωσης κυμαίνονται από $-15,1^{\circ}\text{C}$ μέχρι $13,8^{\circ}\text{C}$, με μέση τιμή τους $2,1^{\circ}\text{C}$. Για το σημείο απόχυσης η κατώτερη τιμή είναι $-23,4^{\circ}\text{C}$ και η ανώτερη $11,8^{\circ}\text{C}$, ενώ η μέση τιμή είναι οι -2°C . Οι συσχετίσεις των παραπάνω σημείων με τον βαθμό ακορεστότητας δεν παρουσιάζονται τόσο ισχυρές όσο στα φυτικά έλαια ($R^2=0,55$ για το σημείο θόλωσης και $R^2=0,63$ για το σημείο απόχυσης) αλλά η μεταξύ τους συσχέτιση εμφανίζεται το ίδιο ισχυρή ($R^2=0,77$). [1]

6.9. Οξειδωτική σταθερότητα

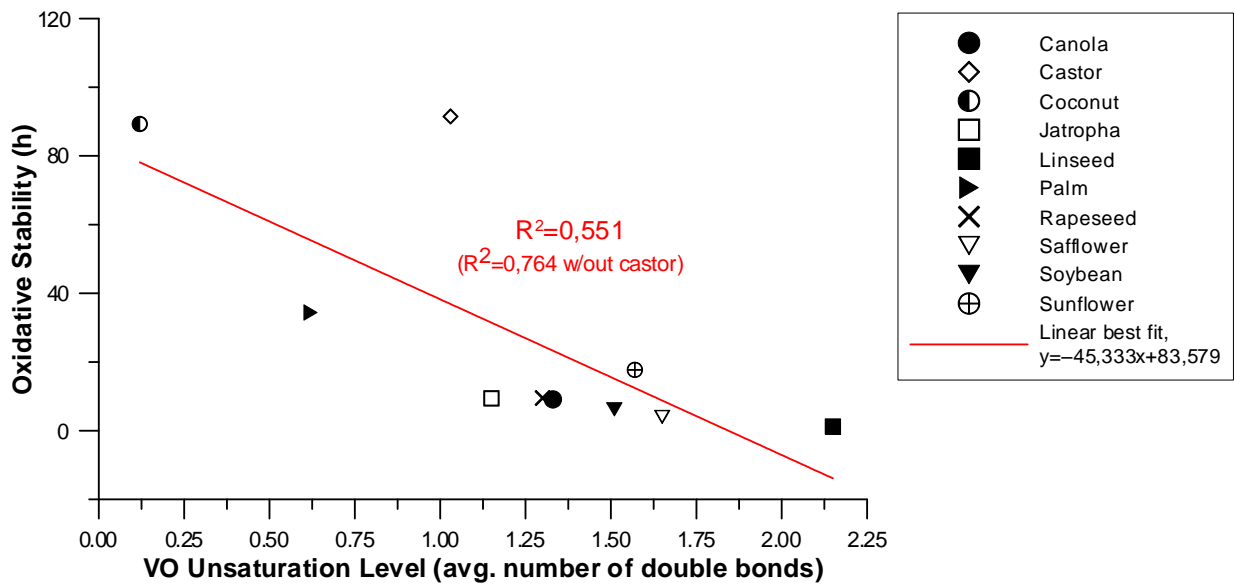
Οι τιμές της οξειδωτικής σταθερότητας που παρατηρήθηκαν κυμαίνονται από 1,2 ώρες μέχρι 91,5 ώρες, με μέση τιμή τις 27,23 ώρες. Γενικά οι τιμές που βρέθηκαν για την συγκεκριμένη ιδιότητα ήταν μόνο για τα 10 από τα 22 φυτικά έλαια, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αρκετά μεγάλο δείγμα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Παρ' όλα αυτά διακρίνεται μια συσχέτιση μεταξύ της οξειδωτικής σταθερότητας και του βαθμού ακορεστότητας με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,551$ (χωρίς το καστορέλαιο εμφανίζεται συντελεστής προσδιορισμού $R^2=0,764$) και γραμμική σχέση προσέγγισης την Σχέση 6.9, που δείχνει την

συσχέτιση οξειδωτικής σταθερότητας και βαθμού ακορεστότητας:

$$y = - 45,333 \cdot x + 85,579 \quad (6.9).$$

Στο Σχήμα 6.11 που ακολουθεί φαίνεται ότι όσο αυξάνει ο βαθμός ακορεστότητας μειώνεται η οξειδωτική σταθερότητα. Η συσχέτιση αυτή επιβεβαιώνεται και από την πράξη, καθώς η οξειδωση λαμβάνει χώρα στους διπλούς δεσμούς ενός μορίου, επομένως τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι αυτά που επηρεάζονται από την οξειδωση, και όχι τα κορεσμένα. [1]

Αντίστοιχη συσχέτιση παρατηρείται και στο βιοντίζελ, παρ' όλα αυτά οι τιμές που παρατηρούνται για κάποια βιοντίζελ είναι αρκετά μικρότερες (π.χ. ο μεθυλεστέρας κοκκοφοινικέλαιου εμφανίζει οξειδωτική σταθερότητα 11 ωρών, ενώ όπως είδαμε και παραπάνω το αντίστοιχο φυτικό έλαιο εμφανίζει οξειδωτική σταθερότητα περίπου 90 ωρών).



Σχήμα 6.11. Συσχέτιση μεταξύ της οξειδωτικής σταθερότητας και του βαθμού ακορεστότητας των φυτικών ελαίων.

Σύνοψη και Συμπεράσματα

Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία οδήγησε στην εύρεση των μέσων τιμών (και των τυπικών αποκλίσεων) των πιο σημαντικών φυσικο-χημικών ιδιοτήτων των γνωστότερων φυτικών ελαίων ενώ αναλύθηκαν και οι συστάσεις σε λιπαρά οξέα για το καθένα.

Παρ' ότι σε αρκετά φυτικά έλαια δεν κατέστη δυνατή η εύρεση πολλών δεδομένων στη διεθνή βιβλιογραφία, έγινε η καλύτερη δυνατή προσπάθεια ώστε να προκύψουν όσο το δυνατόν πιο ακριβείς τιμές για τα παραπάνω μεγέθη. Στη συνέχεια, όπου αυτό ήταν δυνατόν, έγινε συσχέτιση των ιδιοτήτων με την σύσταση σε λιπαρά οξέα και συγκεκριμένα το βαθμό ακορεστότητας, οπότε και βρέθηκαν γραμμικές σχέσεις βέλτιστης προσέγγισης και συντελεστές προσδιορισμού για τις παραπάνω συσχετίσεις.

Αξίζει επίσης να αναφέρουμε και την μοναδικότητα κάποιων συγκεκριμένων φυτικών ελαίων σε σχέση με τα υπόλοιπα, όπως π.χ. του καστορέλαιου και του κοκκοφοινικέλαιου.

Επιχειρήθηκε, σε επόμενη φάση, να γίνει μια σύνδεση μεταξύ των ιδιοτήτων του βιοντίζελ (με τιμές προερχόμενες από πρωτύτερη επιστημονική έρευνα στο Εργαστήριο Μ.Ε.Κ. του Ε.Μ.Π.) και των αντίστοιχων ιδιοτήτων των «πατρικών» φυτικών ελαίων. Σε κάποιες περιπτώσεις επιτεύχθηκε αυτό ενώ, σε κάποιες άλλες όχι. Μεγαλύτερη διαφορά παρατηρήθηκε στις τιμές της κινηματικής συνεκτικότητας, όπου εντοπίζεται και το σημαντικότερο πρόβλημα των φυτικών ελαίων όσον αφορά τη χρήση τους ως καύσιμο σε κινητήρες diesel.

Κλείνοντας, και δεδομένου του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τα εναλλακτικά καύσιμα, εκτιμάται ότι η παρούσα μελέτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφαλτήριο για μελλοντικές έρευνες σχετικές με τα φυτικά έλαια και γενικότερα τα βιοκαύσιμα .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία

- 1) Ε.Γ. Γιακουμής (2013), «A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation», Renewable Energy 2013;50:858-878
- 2) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1988), «Αρχές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή–Λειτουργία–Θερμοδυναμική», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 3) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας (1998) «Καύση ρύπανση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 4) Ζάχος-Σιάγκος Ηρακλής (2012), «Στατιστική επεξεργασία πειραματικών δεδομένων εκπομπών CO₂ και κατανάλωσης καυσίμου κατά τη διάρκεια Κύκλων Πόλης με χρήση μιγμάτων πετρελαίου-βιοντίζελ», Αθήνα.
- 5) D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, E.C. Kakaras, E.G. Giakoumis (2008). «Effects of ethanol–diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine», Energy Convers Manage 2008;49:3155–62.

- 6) D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, D.T. Hountalas, E.C. Kakaras, E.G. Giakoumis, R.G. Papagiannakis (2010). «Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends», Fuel 2010;89:2781-2790
- 7) C.D. Rakopoulos, D.C. Rakopoulos, D.T. Hountalas, E.G. Giakoumis, E.C. Andritsakis (2008). «Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock», Fuel 2008;87:147-157
- 8) C.D. Rakopoulos, D.C. Rakopoulos, E.G. Giakoumis, A.M. Dimaratos (2010). «Investigation of the combustion of neat cottonseed oil or its neat bio-diesel in a HSDI diesel engine by experimental heat release and statistical analyses», Fuel 2010;89:3814-3826
- 9) European Environment Agency (2006). «Transport and environment : facing a dilemma : TERM 2005: indicators tracking transport and environment in the European Union», Copenhagen: European Environment Agency ; Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities
- 10) Joint Research Centre (European Commission), EUCAR & CONCAWE (2007). «Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context», March 2007
- 11) BP Statistical Review of World Energy (2015). 64th Edition, June 2015
- 12) United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service (2015). «Oilseeds: World Markets and Trade», September 2015
- 13) «Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC», Official Journal of the European Union 5.6.2009; L 140/16

- 14) Kimberly M. Carlson, Lisa M. Curran, Gregory P. Asner, Alice McDonald Pittman, Simon N. Trigg, J. Marion Adeney (2013). «Carbon emissions from forest conversion by Kalimantan oil palm plantations», *Nature Climate Change* 2013;3:283-287
- 15) María Jesús Ramos, Carmen María Fernández, Abraham Casas, Lourdes Rodríguez, Ángel Pérez (2009). «Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties», *Bioresource Technology* 2009;100:261-268
- 16) Nívea De Lima Da Silva, César Benedito Batistella, Rubens Maciel Filho, Maria Regina Wolf Maciel (2013). «Investigation of Biofuels Properties», *Chemical Engineering Transactions* 2011; 25:851-856.
- 17) Ayhan Demirbas (2009). «Biofuels, Securing the Planet's Future Energy Needs», Springer 2009
- 18) United States Department of Energy, Vehicle Technologies Program (2010). «Straight Vegetable Oil as a Diesel Fuel?», May 2010
- 19) Kunchana Bunyakiat, Sukunya Makmee, Ruengwit Sawangkeaw, Somkiat Ngamprasertsith (2006). «Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol», *Energy Fuels* 2006;20:812-817
- 20) Μ. Μέγα (2009). «Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (Μ.Υ.Η.Ε.) στις Ορεινές Περιοχές και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον»
- 21) Theocharis Tsoutsos, Niki Frantzeskaki, Vassilis Gekas (2005). «Environmental impacts from the solar energy technologies», *Energy Policy* 2005;33;3:289-296