



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

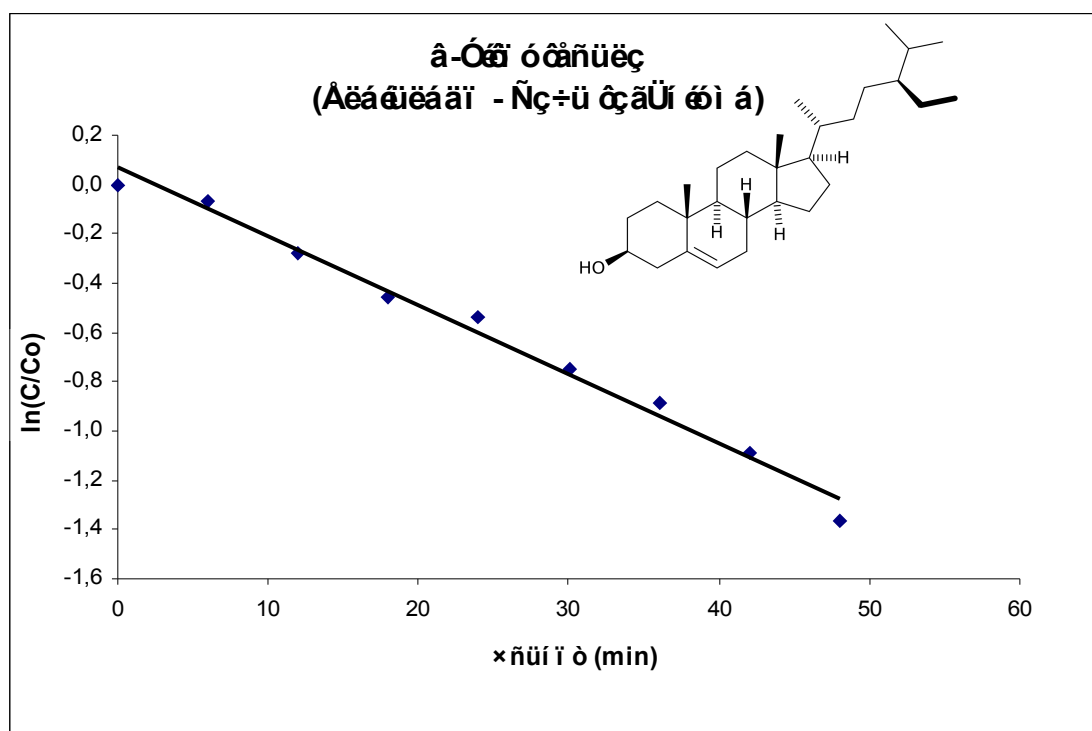
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

Κωνσταντά Μαρία

Α.Μ.: 20653

Πτυχιακή μελέτη

«Διάχυση αντιοξειδωτικών στην πατάτα κατά το τηγάνισμα»



Επιβλέπων καθηγητής: Καραθάνος Βάιος

Τριμελής εξεταστική επιτροπή: Καραθάνος Βάιος

Καλογερόπουλος Νικόλαος

Χίου Αντωνία

Αθήνα, 2011

Στους γονείς μου...

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Θεωρητικό μέρος.....	6
Τηγάνισμα.....	7
1.1 Τηγάνισμα.....	7
1.2 Διεργασία τηγανίσματος.....	8
1.3 Μέθοδοι τηγανίσματος.....	8
1.4 Μεταβολές κατά το τηγάνισμα.....	9
1.4.1 Φυσικές μεταβολές.....	10
1.4.2 Χημικές μεταβολές.....	10
1.4.2.1 Υδρόλυση.....	10
1.4.2.2 Οξείδωση.....	11
1.4.2.3 Πολυμερισμός.....	11
1.5 Απόρροφηση του ελαίου.....	12
1.5.1 Κινητική της απορρόφησης του ελαίου	12
1.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του ελαίου.....	15
1.6.1 Περιεχόμενη υγρασία.....	15
1.6.2 Μικροδομή κρούστας.....	16
1.6.3 Γεωμετρία Προϊόντος.....	16
1.6.4 Θερμοκρασία και διάρκεια τηγανίσματος.....	17
1.6.5 Τύποι ελαίων και υποβάθμισή τους.....	18
1.7 Έλαια που χρησιμοποιούνται για το τηγάνισμα.....	19
1.7.1 Ελαιόλαδο.....	19
1.7.2 Ηλιέλαιο.....	19
1.7.3 Βαμβακέλαιο.....	19
1.7.4 Φοινικέλαιο.....	20
1.8 Τηγανισμένα τρόφιμα.....	20
1.9 Επίδραση του τηγανίσματος στα τηγανισμένα τρόφιμα.....	21
1.10 Πατάτα.....	21
1.10.1 Η διατροφική αξία της πατάτας.....	22
1.11 Αντιοξειδωτικά.....	24
1.11.1 Αντιοξειδωτικά στα τρόφιμα.....	24
1.11.2 Αντιοξειδωτικά και ανθρώπινος οργανισμός.....	26
1.12 Φυτοστερόλες.....	26
Υλικά και μέθοδοι.....	28
2.1 Μέρος Α	29
2.1.1 Περιγραφή.....	29
2.2 Μέρος Β	30
2.2.1 Περιγραφή.....	30
2.2.2 Τηγάνισμα.....	31
2.2.1.1 Διαδικασία βαθέως τηγανίσματος.....	31
2.2.1.2 Δείγματα	31
2.2.3 Απομάκρυνση της υγρασίας από τις τηγανισμένες πατάτες (Λυοφιλίωση).....	32
2.2.3.1 Αντιδραστήρια – Όργανα.....	32
2.2.3.2 Αναλυτική πορεία.....	32

2.2.4 Προσδιορισμός του απορροφηθέντος ελαίου από τις τηγανισμένες πατάτες.....	33
2.2.4.1 Αντιδραστήρια – Όργανα.....	33
2.2.4.2. Αναλυτική πορεία.....	33
2.2.5 Μέθοδος παραλαβής των στερολών.....	33
2.2.5.1 Μέθοδος παραλαβής των στερολών από τηγανισμένα έλαια.....	33
2.2.5.1.1 Όργανα - Αντιδραστήρια.....	33
2.2.5.2 Αναλυτική πορεία.....	34
2.2.6 Μέθοδος παραλαβής των στερολών από τηγανισμένες πατάτες	35
2.2.6.1 Αναλυτική πορεία.....	35
2.2.7 Σιλυλίωση.....	36
2.2.7.1 Όργανα - Αντιδραστήρια.....	36
2.2.7.2 Αναλυτική πορεία.....	36
Αποτελέσματα - Συζήτηση.....	38
3.1 Μέρος Α.....	39
3.1.2 Μελέτη κινητικής μείωσης.....	41
3.1.3 Μελέτη κινητικής απορρόφησης.....	47
3.2.1 Υγρασία των τηγανητών πατατών.....	49
3.2.2 Μελέτη της σχέσης του πάχους με τον χρόνο τηγανίσματος	53
3.2.3 Απορροφηθέν έλαιο από τις τηγανητές πατάτες.....	55
3.2.4 Σύσταση των ελαίων σε στερόλες	58
3.2.5 Φυτοστερόλες στις πατάτες.....	58
3.2.6 Διατροφική αξιολόγηση της τηγανητής πατάτας.....	61
Παράρτημα 1.....	64
Παράρτημα 2.....	71
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
Ευχαριστίες.....	82

Περίληψη

Το τηγάνισμα των τροφίμων θεωρείται ως μια από τις δημοφιλέστερες μεθόδους μαγειρέματος που χρησιμοποιείται σε οικιακό επίπεδο όσο και στους χώρους μαζικής εστίασης. Αν και τονίζεται συχνά η ανθυγιεινή φύση των τηγανητών τροφίμων, ωστόσο έχει φανεί από πολλές μελέτες πως τα τηγανητά τρόφιμα εμπλουτίζονται με πολύτιμα συστατικά του ελαίου, όπως βιταμίνη E και αντιοξειδωτικά.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελείται από δύο μέρη:

Στο πρώτο μέρος έγινε περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων της βιβλιογραφίας (Σάλλα, 2007), με κύριο στόχο την έκφραση της κινητικής μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών σε πέντε τύπους ελαίων, κατά το βαθύ και το ρηχό τηγάνισμα. Επίσης μελετήθηκε η απορρόφηση της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών στις πατάτες, με στόχο να αναδείξουμε σε ποιο έλαιο παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη απορρόφηση από την τηγανητή πατάτα κατά το τηγάνισμα.

Στο δεύτερο μέρος πραγματοποιήθηκαν τηγανίσματα σε φριτέζα, με τρεις τύπους ελαίων (ελαιόλαδο, ηλιέλαιο και μίγμα ελαίων κατάλληλο για τηγάνισμα) και επαναλήφθηκαν συνολικά τρεις φορές. Στόχος μας ήταν να μελετήσουμε διάφορους παράγοντες που μεταβάλλονται κατά το τηγάνισμα στην πατάτα, όπως το πάχος τους, η περιεχόμενη υγρασία, η περιεκτικότητα σε έλαιο, καθώς και σε φυτοστερόλες.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψαν τα ακόλουθα:

Σε ότι αφορά το πρώτο μέρος, εκτιμήθηκε η κινητική του ρυθμού μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών, η οποία βρέθηκε πρώτης τάξης. Οι σταθερές ρυθμού μείωσης (k) της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών κατά το βαθύ τηγάνισμα κυμαίνονται στο εύρος τιμών ($0,0043 - 0,0103 \text{ min}^{-1}$), κατά το ρηχό τηγάνισμα το εύρος τιμών είναι ($0,0181 - 0,0266 \text{ min}^{-1}$). Από τα αποτελέσματα για την απορρόφηση της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών από τις πατάτες, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη μέση απορρόφησή τους είναι μεγαλύτερη κατά τα 8 διαδοχικά τηγανίσματα σε βαμβακέλαιο (στο ρηχό τηγάνισμα), ενώ κατά το βαθύ τηγάνισμα η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη στο ηλιέλαιο.

Στο δεύτερο μέρος υπολογίστηκε το πάχος των τηγανητών πατατών, το ποσοστό της υγρασίας στις τηγανητές πατάτες καθώς και η περιεκτικότητα των πατατών σε έλαιο, κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Βρέθηκε ότι καθ'όλη τη διάρκεια του τηγανίσματος η % υγρασία στις πατάτες μειώνεται, όπως και το πάχος των τηγανητών πατατών. Η περιεκτικότητα σε έλαιο και φυτοστερόλες φαίνεται πως αυξάνεται σε σχέση με το χρόνο τηγανίσματος.

Θεωρητικό μέρος

Τηγάνισμα

1.1 Τηγάνισμα

Το μαγείρεμα αποσκοπεί στην βελτίωση της γεύσης, των χαρακτηριστικών και της ποιότητας των τροφίμων. Ενισχύει την πεπτικότητα τους και αυξάνει τη βιολογική διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών στον ανθρώπινο οργανισμό.

Το τηγάνισμα είναι μια αρχαία διεργασία μαγειρέματος, φαίνεται ότι έχει τις ρίζες του στην Κίνα, όπου τα τρόφιμα προμαγειρεύονταν πριν ψηθούν. Ακόμη, στις τοιχογραφίες των Αιγυπτίων απεικονίζονται εικόνες που δείχνουν ζυμάρι να τηγανίζεται σε έλαιο, ένδειξη ότι στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αφρική χρησιμοποιούνταν καυτό λάδι για την προετοιμασία του φαγητού (Stier, 2004). Θεωρείται από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους παρασκευής τροφίμων, αφού είναι ένας γρήγορος και εύκολος τρόπος μαγειρέματος, καθώς απαιτεί μικρή προετοιμασία των τροφίμων. Είναι αρκετά δημοφιλής από τους καταναλωτές εξαιτίας της γεύσης, του αρώματος, του χρώματος και της τραγανής υφής που προσδίδει στα τρόφιμα. Ο Stier (2000) αναφέρει ότι είναι τέχνη, η οποία σταδιακά εξελίχθηκε σε επιστήμη χάρη στον Blumenthal και τις έρευνες των Singh, Saguy, Farkas και Esher.

Τεχνολογικά ορίζεται ως η θερμική επεξεργασία του τροφίμου με απώτερο σκοπό:

- Να γίνει το φαγητό πιο ασφαλές προς βρώση, καθώς εξουδετερώνονται παθογόνοι μικροοργανισμοί και τοξίνες, υπεύθυνες για τροφογενείς ασθένειες.
- Να παρεμποδιστεί η αλλοίωση του τροφίμου από μικροοργανισμούς και ένζυμα.
- Να διαμορφωθούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου σε εκείνα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του μαγειρεμένου φαγητού, όπως το χρώμα, το άρωμα και η υφή.
- Να γίνει το φαγητό πιο εύπεπτο από τη μετουσίωση και υδρόλυση των δομικών πρωτεϊνών (κρέας, ψάρια) και των πολυσακχαριτών (λαχανικά)
- Να παραταθεί ο χρόνος κατανάλωσης του τροφίμου (Μπόσκου, 2005).

Παρά την ανθυγιεινή φύση των τηγανητών τροφίμων και τις σύγχρονες συστάσεις για μείωση της πρόσληψης λιπαρών μέσω της διατροφής, η κατανάλωση τηγανητών τροφίμων αυξάνεται βαθμιαία τα τελευταία 50 χρόνια προκειμένου να συμβαδίσει με τις

απαιτήσεις του σύγχρονου τρόπου ζωής. (Mintel, 2002)

Ένας από τους παράγοντες που συμβάλλουν στη ποιότητα του τελικού τηγανητού προϊόντος είναι το ίδιο το έλαιο τηγανίσματος. Η αποικοδόμηση του ελαίου τηγανίσματος εξαρτάται από την σύνθεσή του σε λιπαρά οξέα, την αρχική του κατάσταση και την παρουσία προοξειδωτικών ή αντιοξειδωτικών. Αν και είναι γνωστές οι περισσότερες μεταβολές που συμβαίνουν στο έλαιο τηγανίσματος, είναι δύσκολο να προβλεφθεί ο βαθμός υποβάθμισής του, εξαιτίας των διάφορων παραγόντων που εμπλέκονται. Αυτοί οι παράγοντες δεν σχετίζονται αποκλειστικά με το έλαιο τηγανίσματος, αλλά επίσης με τη διαδικασία τηγανίσματος (θερμοκρασία, διάρκεια) και με το τρόφιμο που πρόκειται να τηγανιστεί.

1.2 Διεργασία τηγανίσματος

Το τηγάνισμα είναι μια διαδικασία μαγειρέματος όπου το τρόφιμο βυθίζεται σε καυτό έλαιο και μέσω μεταφοράς μάζας και θερμότητας δημιουργούνται τα επιθυμητά και πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά όπως η γένυση και η εμφάνιση του τροφίμου.

Για το τηγάνισμα χρησιμοποιείται μια ποικιλία ελαίων, που χρησιμεύουν κυρίως στην μεταφορά θερμότητας στο τρόφιμο, ενώ ταυτόχρονα τα τηγανητά τρόφιμα απορροφούν το έλαιο, με αποτέλεσμα τελικά να αποτελούν και τα ίδια συστατικά της διατροφής (Vitrac et al., 2000).

1.3 Μέθοδοι τηγανίσματος

Υπάρχουν τρεις αναγνωρισμένες μέθοδοι τηγανίσματος:

- (α) τηγάνισμα σε τηγάνι (Pan-frying, Shallow frying)
- (β) οικιακό τηγάνισμα σε φριτέζα (Batch deep-frying) και
- (γ) συνεχές τηγάνισμα σε φριτέζα (Continuous deep-frying).

◆ Τηγάνισμα σε τηγάνι

Σε ένα ρηχό τηγάνι τοποθετείται μια μικρή ποσότητα ελαίου ή λίπους και θερμαίνεται σε θερμοκρασία τηγανίσματος. Το έλαιο βρίσκεται σε ποσότητα τέτοια ώστε να καλύπτει το τρόφιμο από την μία πλευρά, αφού η στάθμη του ελαίου δεν ξεπερνά το ύψος του τροφίμου. Τελικά, μέρος ή το σύνολο του ελαίου απορροφάται από τα τρόφιμα κατά τη

διάρκεια του μαγειρέματος. Η μετάδοση της θερμότητας στο τρόφιμο γίνεται μέσω του ελαίου και η θερμοκρασία σε αυτόν τον τύπο τηγανίσματος κυμαίνεται από 120°C έως 180°C.

◆ *Οικιακό Τηγάνισμα σε φριτέζα*

Είναι μέθοδος που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στις βιομηχανίες τροφίμων, αλλά και σε οικιακό επίπεδο. Σε αυτή τη μέθοδο το τρόφιμο βυθίζεται πλήρως σε μεγάλη ποσότητα ελαίου, έτσι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και κατά συνέπεια το τρόφιμο απορροφά μόνο ένα μικρό μέρος του ελαίου (McSavage et al. 2001). Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιείται μεγαλύτερος όγκος ελαίου, έτσι ώστε να βυθίζεται η συνολική επιφάνεια των τροφίμων στο έλαιο. Μόνο ένα μικρό μέρος του ελαίου απορροφάται από το τρόφιμο, ενώ το υπόλοιπο είναι σε θέση να επαναχρησιμοποιηθεί. Η θερμοκρασία τηγανίσματος σε φριτέζα κυμαίνεται από 140°C έως 220°C.

◆ *Συνεχές τηγάνισμα σε φριτέζα*

Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την προσθήκη των τροφίμων στην συσκευή τηγανίσματος, στην οποία έχει προστεθεί πολύ μεγάλη ποσότητα ελαίου και χρησιμοποιείται από μονάδες εστίασης και βιομηχανίες τροφίμων. Είναι δυνατόν να τηγανίζουν με οποιοδήποτε τύπο ελαίου ή λίπους, το οποίο χρησιμοποιείται σε συνεχή βάση (χωρίς αντικατάσταση), και το έλαιο ή το λίπος που απορροφάται από τα τρόφιμα, αντικαθίσταται συνεχώς με φρέσκο.

Συγκρίνοντας τις τρεις παραπάνω μεθόδους βρέθηκε ότι κατά τη διαδικασία του ρηχού τηγανίσματος καταστρέφονται ταχύτερα τα αντιοξειδωτικά και τα άλλα μικροσυστατικά του ελαίου, σε σχέση με τη μέθοδο τηγανίσματος σε φριτέζα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το τρόφιμο δε βρίσκεται πλήρως καλυμμένο στο έλαιο με αποτέλεσμα μέρος του τροφίμου να βρίσκεται εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα, γεγονός που επιταχύνει την διαδικασία οξείδωσης (Andrikopoulos et al., 2002).

1.4 Μεταβολές κατά το τηγάνισμα

Κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος πραγματοποιούνται τόσο φυσικές όσο και

χημικές μεταβολές, στις οποίες οφείλονται η οσμή και η γεύση που παρουσιάζουν τα έλαια μετά από ένα ή επαναλαμβανόμενα τηγανίσματα (Bognar, 1998).

1.4.1 Φυσικές μεταβολές

Κατά το τηγάνισμα θερμότητα μεταφέρεται από το έλαιο προς το τρόφιμο, νερό αποβάλλεται από το τρόφιμο και το έλαιο απορροφάται. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας και μάζας ελαίου είναι πολλοί, μεταξύ αυτών είναι οι θερμικές και φυσικές ιδιότητες του τροφίμου και του ελαίου, το σχήμα και το μέγεθος του τροφίμου και η θερμοκρασία του ελαίου (Warner, 1999).

1.4.2 Χημικές μεταβολές

Κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος πλήθος χημικών αντιδράσεων λαμβάνουν χώρα. Αυτές οι αντιδράσεις οφείλονται κυρίως στην παρουσία οξυγόνου, της υγρασίας των τροφίμων και των υψηλών θερμοκρασιών. Οι αντιδράσεις αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: την οξείδωση, την υδρόλυση και τον πολυμερισμό. Αποτελέσματα των χημικών αντιδράσεων κατά το τηγάνισμα είναι η αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, των καρβονυλικών συστατικών, η μείωση της ακορεστότητας, της ποιότητας των αρωματικών ενώσεων και της θρεπτικής αξίας (μείωση απαραίτητων λιπαρών οξέων) του ελαίου (Warner, 1999).

1.4.2.1 Υδρόλυση

Στην διαδικασία τηγανίσματος ενός τροφίμου, αέρας και νερό συντελούν σε μια σειρά από αλληλένδετες αντιδράσεις. Νερό και ατμός υδρολύουν τα τριγλυκερίδια, με αποτέλεσμα να παράγονται μονογλυκερίδια και διγλυκερίδια και τελικά ελεύθερα λιπαρά οξέα και γλυκερόλη. Η έκταση της υδρόλυσης καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του ελαίου, η εσωτερική περιοχή ανάμεσα στο έλαιο και την υδατική φάση και η ποσότητα του νερού και του ατμού. Τα προϊόντα της υδρόλυσης μειώνουν τη σταθερότητα των τηγανισμένων ελαίων και αποτελούν χρήσιμους δείκτες για την εκτίμηση της ποιότητας των τηγανισμένων ελαίων (Warner, 1999).

1.4.2.2 Οξείδωση

Τα έλαια κατά το τηγάνισμα υφίστανται οξείδωση. Η αντίδραση των λιπών και ελαίων με οξυγόνο ονομάζεται αυτοοξείδωση. Είναι μία αυτοκαταλυόμενη αλυσωτή αντίδραση που στηρίζεται στο μηχανισμό ελευθέρων ριζών και έχει τρία στάδια, την έναρξη, τη διάδοση και τον τερματισμό. Στο φρέσκο λάδι περιέχεται οξυγόνο, το οποίο έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του λαδιού κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Αφετηρία της διαδικασίας αυτής είναι η ενεργοποίηση από το οξυγόνο, μίας σειράς αντιδράσεων που αφορούν στο σχηματισμό ελευθέρων ριζών, υδροϋπεροξειδίων και συζυγών διενίων. Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της οξείδωσης συμβάλλουν στο σχηματισμό τόσο σταθερών όσο και μη σταθερών αποδομημένων προϊόντων (Warner, 1999).

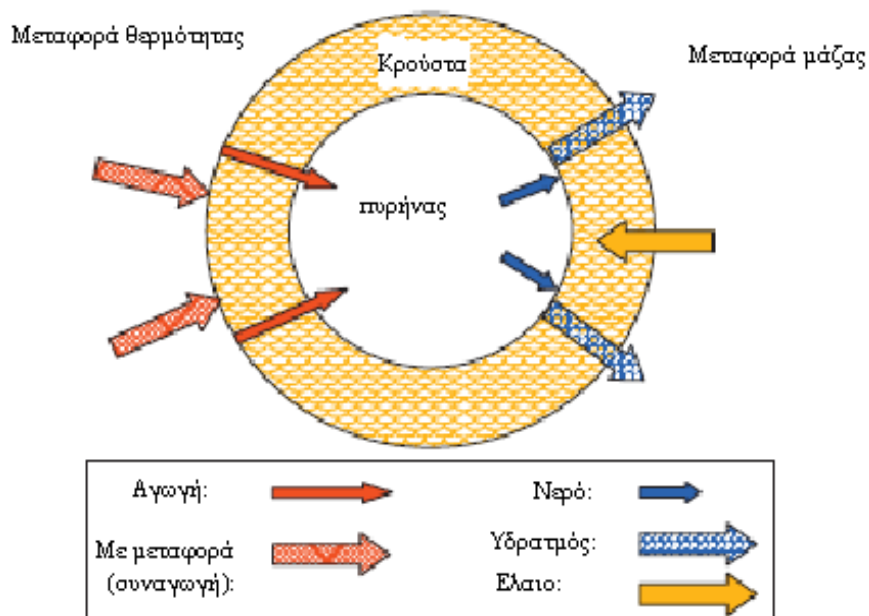
1.4.2.3 Πολυμερισμός

Η έκθεση μίας λιπαρής ύλης σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί πολυμερισμό των ακόρεστων τριγλυκεριδίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του ιξώδους, του μοριακού βάρους, του χρώματος και του δείκτη διάθλασης (Μπόσκου, 1997). Ο πολυμερισμός συμβαίνει κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, μέσα από ένα μεγάλο αριθμό χημικών αντιδράσεων που έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό προϊόντων υψηλού μοριακού βάρους και πολικότητας. Κυκλικά λιπαρά οξέα είναι δυνατόν να προκύψουν από ένα λιπαρό οξύ, διμερή λιπαρά οξέα από δύο λιπαρά οξέα, μεταξύ του ιδίου ή δύο διαφορετικών τριγλυκεριδίων (Warner, 1999). Κατά τη θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. στους 160-170°C που πραγματοποιείται το τηγάνισμα) αναπτύσσονται πολυμερή και πολικά παραπροϊόντα. Τα παραπροϊόντα αυτά ονομάζονται ολικά πολικά συστατικά (Total Polar Artefacts, TPA) λόγω των πολικών ομάδων που φέρουν, σε αντίθεση με τα τριγλυκερίδια που δεν είναι πολικά. Από πειράματα με πειραματόζωα έχειδειχθεί ότι τα TPA προκαλούν βλάβες στην καρδιά και στο ήπαρ, μετά από δίαιτα με μεγάλη περιεκτικότητα σε αυτά. Τα TPA βρίσκονται και στα μη θερμασμένα έλαια λόγω διαφόρων επιδράσεων επ'αυτών, όπως το φως, ο εξευγενισμός κ.ά, σε ποσοστό 2-5% για το ελαιόλαδο και 5-10% για τα διάφορα είδη σπορελαίων (Ανδρικόπουλος Ν., 1999).

1.5 Απορρόφηση του ελαίου

1.5.1 Κινητική της απορρόφησης του ελαίου

Αν και δεν είναι πλήρως κατανοητό το πότε και πώς το λάδι εισέρχεται μέσα στη δομή του τροφίμου, έχει αποδειχθεί ότι το περισσότερο από αυτό είναι συγκεντρωμένο στην περιοχή της επιφάνειας του τηγανισμένου προϊόντος και υπάρχουν ισχυρά στοιχεία ότι κατά κύριο λόγο απορροφάται κατά τη διάρκεια της ψύξης του τροφίμου (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) μετά το τηγάνισμα. Για αυτό το λόγο έχει δημιουργηθεί η εντύπωση ότι κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, η έξοδος των ατμών νερού δημιουργεί ένα φραγμό που δεν επιτρέπει την μετακίνηση του ελαίου διαμέσου της πορώδους κρούστας και σαν συνέπεια αυτού η απορρόφηση του ελαίου περιορίζεται κατά τη διάρκεια της παραμονής του τροφίμου εντός του ελαίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η πρόσληψη ελαίου να προέρχεται από τον ανταγωνισμό μεταξύ της αποστράγγισης και της αναρρόφησης εντός της πορώδους κρούστας από τη στιγμή που το τρόφιμο έχει απομακρυνθεί από το έλαιο και ψύχεται. Το συγκεκριμένο φαινόμενο μας αποκαλύπτει ότι πρόκειται για μια διαδικασία που περιορίζεται στην επιφάνεια του τροφίμου.



Σχήμα 1: Φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας

Σε άλλη μελέτη (Gamble et al. 1987) φάνηκε ότι η μεγαλύτερη ποσότητα ελαίου εισήλθε στο προϊόν αφού απομακρύνθηκε από τη φριτέζα, λόγω της επίδρασης του κενού που προήλθε από τη συμπίκνωση του ατμού. Παράλληλα αναφέρθηκε ότι η προσρόφηση του ελαίου εξαρτιόταν από την ποσότητα του νερού που απομακρύνθηκε και από τον τρόπο που χάθηκε η υγρασία.

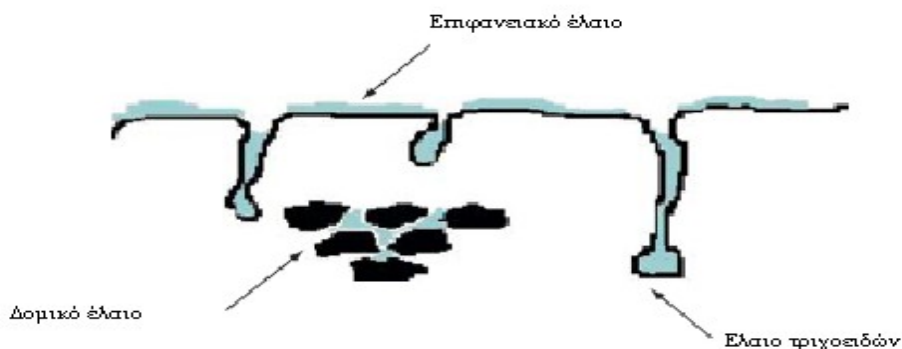
Σε έρευνα των Ufheil and Escher (1996) μελετήθηκε η απορρόφηση ελαίου από τηγανητές φέτες πατάτας κατά τη διάρκεια βαθέως τηγανίσματος, χρησιμοποιώντας μια λιποδιαλυτή και θερμοανθεκτική βαφή. Προσδιορίστηκε ότι μεγαλύτερη ποσότητα ελαίου απορροφήθηκε όταν το προϊόν απομακρύνθηκε από τη φριτέζα και πρότειναν ότι η πρόσληψη ελαίου ήταν κατά κύριο λόγο ένα επιφανειακό φαινόμενο το οποίο συμπεριλαμβάνει κατάσταση ισορροπίας μεταξύ προσκόλλησης και αποστράγγισης του ελαίου κατά την απομάκρυνση του προϊόντος από το έλαιο. Παρόμοια αποτελέσματα έδειξαν και οι ομάδες των Aguilera and Gloria (2000), Bouchon et al. (2003) και Duran et al. (2007).

Ο Matz (1993) εστίασε στην κινητική της ψύξης μετά το τηγάνισμα και προσδιόρισε ότι λεπτές φέτες πατάτας απορρόφησαν μόνο το 15% του συνολικού ελαίου όταν απομακρύνθηκαν γρήγορα από την φριτέζα.

Οι Moreira et al (1997) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μόνο το 20% του συνολικού περιεχομένου του ελαίου σε tortilla τσιπς απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια που ήταν εμβαπτισμένα στο δοχείο τηγανίσματος και ότι σχεδόν 64% του συνολικού περιεχομένου ελαίου προσροφήθηκε κατά τη διάρκεια της ψύξης μετά το τηγάνισμα ενώ το υπόλοιπο έλαιο απέμεινε στην επιφάνεια του προϊόντος.

Αργότερα ο Bouchon (2003) συνδυάζοντας τα δεδομένα προηγούμενων μελετών κατάφερε να διαχωρίσει 3 διαφορετικά κλάσματα ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος πατατών σε σχήμα κυλίνδρου και θερμοκρασίες 155, 170, 185°C. Αυτά ήταν: i δομικό (structural) έλαιο, το οποίο αντιπροσωπεύει την ποσότητα λαδιού που απορροφήθηκε κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. ii το έλαιο που διαπέρασε την επιφάνεια της πατάτας, το οποίο αντικατοπτρίζει την ποσότητα του ελαίου που αναρροφήθηκε εντός του τροφίμου κατά τη διάρκεια της ψύξης μετά την απομάκρυνση από την φριτέζα και iii το επιφανειακό έλαιο, το οποίο αποτελεί το έλαιο που παρέμεινε στην επιφάνεια. Αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα μικρό ποσό ελαίου ήταν ικανό να διεισδύσει εντός του τροφίμου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος από τη στιγμή που η μεγαλύτερη ποσότητα προσλήφθηκε από το τρόφιμο στο τέλος της διαδικασίας, γεγονός το οποίο μας δείχνει ότι η είσοδος του ελαίου και η έξοδος του νερού δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα. Μετά την ψύξη το έλαιο βρισκόταν είτε στην

επιφάνεια του προϊόντος είτε είχε αναρροφηθεί εντός της πορώδους μικροδομής της κρούστας. Και τα δυο αυτά φαινόμενα συνδέονταν με αντίστροφη σχέση για αυξανόμενους χρόνους τηγανίσματος. Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα αρκετές προσεγγίσεις έχουν υπάρξει όσον αφορά την περιγραφή του μοντέλου απορρόφησης ελαίου σε τρόφιμα.



Σχήμα 2: Απεικόνιση των τριών περιοχών ύπαρξης ελαίου εντός της μικροδομής της πατάτας, έπειτα από βαθύ τηγάνισμα (Bouchon et al., 2003)

Οι Moreira and Barrufet (1998) εξήγησαν το μηχανισμό της απορρόφησης λαδιού κατά την ψύξη σε tortilla τσιπς σύμφωνα με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τριχοειδή. Αυτή η υπόθεση ενισχύθηκε από πειραματικά αποτελέσματα όπου προσδιορίστηκε ότι η απορρόφηση ελαίου συμβαίνει κατά τη διάρκεια των πρώτων 20 δευτερολέπτων της ψύξης όπου η θερμοκρασία εξακολουθούσε να βρίσκεται άνω της θερμοκρασίας συμπίκνωσης (περίπου 100°C). Οι Ni and Datta (1999) ανέπτυξαν ένα πολυβασικό μοντέλο πορώδους μέσου ώστε να προβλέπουν τη μεταφορά ενέργειας, την απώλεια νερού και την απορρόφηση ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Δέχθηκαν ότι η διάδοση του υδρατμού και του αέρα έλαβαν χώρα μέσω μεταφοράς και διάχυσης ενώ παράλληλα στη διάδοση της υγρής φάσης (νερό και έλαιο) η ροή έγινε με μεταφορά και μέσω των τριχοειδών. Στο μοντέλο που ανέπτυξαν θεώρησαν ότι η απορρόφηση του ελαίου έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια που οι πατάτες ήταν εμβαπτισμένες καθώς το νερό εξερχόταν από το τρόφιμο και έτσι δεν έλαβαν υπ' όψιν τους την προσρόφηση κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξεως μετά το τηγάνισμα σε αντίθεση με πειραματικά δεδομένα προηγούμενων μελετών. Τα τελευταία χρόνια σε εργασία των Bouchon et al. (2005) δημιουργήθηκε μια εξίσωση στην

οποία εκφράστηκε η διαφορά πίεσης μεταξύ της επιφάνειας του τροφίμου και του τριχοειδούς σαν συνάρτηση της πίεσης των τριχοειδών, της τάσης των υδρατμών εντός του τροφίμου και της επίδρασης της βαρύτητας. Η συγκεκριμένη διαφορά πίεσης χρειάζεται για να προκαλέσει τη μετακίνηση του ελαίου κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του τηγανισμένου τροφίμου. Ειδικότερα η πίεση στο εσωτερικό του τριχοειδούς μειώνεται κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης ως αποτέλεσμα της μείωσης της τάσης ατμών, λόγω συμπίκνωσής τους. Επιπλέον ο μηχανισμός της συμπίκνωσης επικρατεί σε περιπτώσεις που τα δείγματα έχουν αρκετά μεγάλο πάχος και τηγανίζονται για μικρά χρονικά διαστήματα, καθώς για πιο λεπτά δείγματα ή δείγματα που τηγανίζονται για μεγάλη χρονική διάρκεια, υπάρχει σημαντική ελάττωση της υγρασίας στο εσωτερικό των τριχοειδών, η οποία επιτρέπει την έναρξη προσρόφησης ελαίου.

Σύμφωνα με τους Saguy et al. (1998) η αποστράγγιση ελαίου μετά την απομάκρυνση του τροφίμου από την φριτέζα σίγουρα παίζει ένα σημαντικό ρόλο από τη στιγμή που καθορίζει την επιφανειακή στοιβάδα ελαίου η οποία δύναται να προσροφηθεί κατά την ψύξη.

1.6 Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του ελαίου

1.6.1 Περιεχόμενη υγρασία

Το ποσό του προσλαμβανόμενου ελαίου έχει αποδειχθεί ότι είναι ανάλογο προς το ποσό της υγρασίας που χάνεται. Ορισμένοι ερευνητές συμπεραίνουν ότι υψηλότερο αρχικό περιεχόμενο υγρασίας έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη τελική πρόσληψη ελαίου. Όμως σύμφωνα με τους Gamble et al. (1987) η απορρόφηση ελαίου φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με την ποσότητα του νερού που εξέρχεται από το τρόφιμο παρά με το αρχικό περιεχόμενό του σε υγρασία. Όπως εξηγήθηκε και στην προηγούμενη ενότητα είναι επιβεβαιωμένο ότι το απορροφημένο έλαιο θα καταλάβει τον κενό χώρο που δημιουργήθηκε από την έξοδο του νερού, ο οποίος μάλιστα καθορίζει τον μέγιστο διαθέσιμο όγκο για την απορρόφηση του ελαίου. Η αποτελεσματική μεταφορά των ατμών του νερού διαμέσου της σχηματιζόμενης κρούστας είναι λοιπόν μια σημαντική παράμετρος η οποία επηρεάζει την φυγή του νερού και ίσως την πρόσληψη του λαδιού και όπως εξηγείται από τους Saguy et al. (1998) ο ρυθμός διάχυσης επηρεάζεται εμφανώς από τις μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος

και της κρούστας. Λόγω της προαναφερόμενης σχέσης μεταξύ απώλειας υγρασίας και πρόσληψης ελαίου πολλές μελέτες έχουν ως στόχο τη μείωση του αρχικού περιεχομένου του τροφίμου σε νερό έτσι ώστε να μειώνουν και την απορρόφηση του ελαίου. Η αποτελεσματικότητα αυτής της προεργασίας όμως, η οποία συχνά επιτυγχάνεται μέσω ξήρανσης, δεν οφείλεται στην μείωση του περιεχομένου υγρασίας αυτή καθ'εαυτή αλλά στις δομικές μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια του τροφίμου οι οποίες μειώνουν την επιφανειακή διαπερατότητα.

1.6.2 Μικροδομή κρούστας

Έχει βρεθεί ότι μια μείωση στο αρχικό πορώδες του τροφίμου μπορεί να προκαλέσει μείωση στην προσροφητικότητα του ελαίου (Pinthus et al., 1995). Όπως όμως έχει εξηγηθεί από άλλους συγγραφείς η δημιουργία της κρούστας παίζει έναν πρόσθετο και πολύ βασικό ρόλο, από τη στιγμή που το τηγάνισμα ξεκινά. Καθόσον η υγρασία μετατρέπεται σε ατμό και εξέρχεται από το προϊόν αφήνει πίσω της ένα σπογγοειδές δίκτυο (τούνελ) το οποίο αποτελεί τη δεξαμενή ελαίου. Παράλληλα, η μικροδομή στη περιοχή της κρούστας, η οποία σχηματίζεται κατά τη διάρκεια που το τρόφιμο μαγειρεύεται εντός του θερμαινόμενου ελαίου, έχει αποδειχθεί ότι είναι το μοναδικό πλέον σημαντικό σχετιζόμενο με το προϊόν στοιχείο και μπορεί να προσδιορίσει το τελικό ποσόν του ελαίου που θα εισέλθει σε αυτό (Bouchon et al., 2001). Στην ουσία η ανάπτυξη των πόρων και η κατανομή του μεγέθους τους έχουν βρεθεί να επηρεάζουν άμεσα την πρόσληψη του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Μερικά φυσικά συστατικά προστίθενται για να μειώσουν την απορρόφηση ελαίου, λόγω της ικανότητάς τους να σχηματίζουν μια μεμβράνη ή και επειδή μειώνουν το πορώδες των εξωτερικών στρώσεων. Γενικά ένα πιο ισχυρό και ελαστικό δίκτυο δομής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια λιγότερο περατή εξωτερική στρώση, το οποίο μπορεί να δράσει ως ένας αποτελεσματικός φραγμός ενάντια στην απορρόφηση ελαίου (Bouchon and Pyle, 2004).

1.6.3 Γεωμετρία Προϊόντος

Η επιφανειακή περιοχή του τροφίμου παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση ελαίου, η οποία είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο που περιλαμβάνει την ισορροπία μεταξύ

προσκόλλησης και αποστράγγισης ελαίου καθώς το προϊόν απομακρύνεται από την φριτέζα. Έτσι τα προϊόντα που έχουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας προς όγκο θα προσροφούν περισσότερο λάδι, όπως αποκαλύφθηκε από τη γραμμική σχέση που βρέθηκε μεταξύ της εκτεθειμένης επιφανειακής περιοχής και του ποσού πρόσληψης ελαίου (Gillat, 2001). Επίσης αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η προσρόφηση ελαίου μειώνεται με την αύξηση του πάχους του προϊόντος. Η επιφανειακή τραχύτητα είναι ένας άλλος παράγοντας ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη πρόσληψη ελαίου, από τη στιγμή που όχι μόνο παρεμποδίζει την αποστράγγιση ελαίου, αλλά επίσης αυξάνει τη συνολική επιφανειακή περιοχή (Saguy et al., 1998). Επίσης οι Moreno et al. (2010) έδειξαν ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ του περιεχομένου ελαίου και της επιφανειακής τραχύτητας κάποιων τροφίμων. Οι Saguy & Pinthus (1995) αναφέρουν πως τα κύτταρα που καταστρέφονται κατά το κόψιμο των τροφίμων βρίσκονται σε πλεονεκτική θέση για την απορρόφηση του ελαίου, προκαλώντας έτσι τραχειά επιφάνεια.

1.6.4 Θερμοκρασία και διάρκεια τηγανίσματος

Αυτές οι δυο παράμετροι της διαδικασίας είναι στενά σχετιζόμενες, από τη στιγμή που τα προϊόντα πρέπει να τηγανίζονται έως ότου φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο τελικό περιεχόμενο υγρασίας, οπότε χαμηλότερη θερμοκρασία ελαίου αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη διάρκεια τηγανίσματος. Μια ξεκάθαρη επίδραση της θερμοκρασίας του ελαίου στην προσροφητικότητα του δεν έχει βρεθεί. Οι Gamble et al. (1987) δεν βρήκαν καμία συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας ελαίου και του περιεχομένου του σε τηγανισμένες φέτες πατάτας, αλλά συμπέρανε ότι χαμηλότερες θερμοκρασίες οδήγησαν σε μικρότερο περιεχόμενο ελαίου κατά τα πρώτα στάδια του τηγανίσματος και μεγαλύτερες διαφορές βρέθηκαν μεταξύ 145 και 165°C παρά μεταξύ 165 και 185°C. Με παρόμοιο τρόπο οι Moreira et al. (1997) προσδιόρισαν μεγαλύτερες διαφορές στην προσροφησιμότητα του ελαίου μεταξύ 130 και 160°C παρά μεταξύ 160 και 190°C. Επιπλέον προσδιορίστηκε ότι ο ρυθμός προσρόφησης του ελαίου παρέμεινε ανεπηρέαστος από τη θερμοκρασία τηγανίσματος όταν μελέτησαν τηγανισμένα tortilla chips και ότι μια θερμοκρασία τηγανίσματος της τάξης των 190°C, έδωσε ένα υψηλότερο περιεχόμενο ελαίου (3-5%) από ότι μια θερμοκρασία τηγανίσματος 155°C. Οι Nonaka et al. (1977) επίσης βρήκαν ότι το περιεχόμενο ελαίου σε τηγανητές πατάτες (french fries) αυξανόταν με αύξηση της θερμοκρασίας τηγανίσματος. Οι Bouchon et al. (2003) έδειξαν ότι η συνολική απορρόφηση ελαίου από κυλίνδρους πατάτας κατά το βαθύ

τηγάνισμα είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας τηγανίσματος όταν η διάρκεια της διαδικασίας είναι σύντομη (1 λεπτό στους 155, 170 και 185°C). Σε μεγαλύτερους χρόνους τηγανίσματος βρήκαν ότι το περιεχόμενο του λαδιού σε κυλίνδρους πατάτας που τηγανίστηκαν σε θερμοκρασία 155°C ήταν σημαντικά χαμηλότερο από αυτών που τηγανίστηκαν στους 170 και 185 °C, ενώ καμία διαφορά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των δυο τελευταίων θερμοκρασιών. Οι Krokida et al. (2000) δοκίμασαν τηγάνισμα λωρίδων πατάτας για αυξανόμενους χρόνους από 0,3 έως 20 λεπτά και κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι χαμηλότερη θερμοκρασία ελαίου οδήγησε σε χαμηλότερο περιεχόμενο υγρασίας για μεγάλους χρόνους τηγανίσματος (> 3 λεπτών) με τη διαφορά να είναι υψηλότερη καθώς το τηγάνισμα συνεχιζόταν. Επίσης βρήκαν ότι το περιεχόμενο της υγρασίας όταν το προϊόν ερχόταν στην ισορροπία διαφοροποιούνταν ανάλογα με τη θερμοκρασία τηγανίσματος, καθώς αυτή αυξανόταν από τους 150 έως τους 190°C. Σε συμφωνία με αυτό κατέληξαν στο ότι το χαμηλότερο περιεχόμενο σε έλαιο μπορούσε να εξηγηθεί από την χαμηλότερη απώλεια υγρασίας και όχι απαραίτητα σαν αποτέλεσμα της ίδιας της θερμοκρασίας ελαίου. Οι Pinthus et al. (1995) συμπέραναν ότι το πορώδες της κρούστας αυξανόταν γραμμικά με το χρόνο τηγανίσματος και καθώς η δομή της κρούστας έχει αποδειχθεί ότι παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη ελαίου, μια παχύτερη πορώδης κρούστα θα οδηγούσε σε υψηλότερο περιεχόμενο ελαίου.

1.6.5 Τύποι ελαίων και υποβάθμισή τους

Η επίδραση του είδους του ελαίου και της ποιότητάς του στην απορρόφησή του από τα τηγανητά τρόφιμα είναι ένα φαινόμενο που έχει ευρέως μελετηθεί. Ωστόσο δεν έχει βρεθεί καμία συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών παραμέτρων. Τα συστατικά των τροφίμων που διαχέονται στο έλαιο, το υποβαθμίζουν και σε συνεργασία με την απορρόφηση οξυγόνου μέσω της διεπιφάνειας ελαίου - αέρα, συμβάλλουν στην αλλαγή της σύστασης των τριγλυκεριδίων του ελαίου και την μετατροπή τους σε ένα μείγμα εκατοντάδων συστατικών. Τα συστατικά των τροφίμων αυξάνουν τη μεταφορά θερμότητας καθώς επίσης μειώνουν και την επιφανειακή τάση μεταξύ του τροφίμου και του ελαίου (Blumenthal 1991). Οι επιφανειοδραστικές αυτές ουσίες μπορεί να έχουν μια έντονη επίδραση στην προσρόφηση του ελαίου από το τρόφιμο. Επίσης το ιξώδες του ελαίου αυξάνει σαν αποτέλεσμα του σχηματισμού διμερών και πολυμερών ενώσεων στα πεπαλαιωμένα έλαια. Το υψηλότερο ιξώδες καθιστά δύσκολη την αποστράγγιση ελαίου από την επιφάνεια του προϊόντος, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα του ελαίου που προσροφάται.

1.7 Έλαια που χρησιμοποιούνται για το τηγάνισμα

Η ποιότητα του ελαίου σχετίζεται άμεσα και με την ποιότητα του παραγόμενου τηγανισμένου τροφίμου. Έτσι τα έλαια που θα χρησιμοποιηθούν για τηγάνισμα επιλέγονται με βάση διάφορα κριτήρια όπως η σταθερότητα κατά το τηγάνισμα, η χαμηλή περιεκτικότητα τους σε trans λιπαρά οξέα και κορεσμένα λιπαρά οξέα, η ρευστότητα και η σταθερότητα του κατά την αποθήκευση και κατά τη θέρμανση, καθώς και η τιμή και η διαθεσιμότητά του στην αγορά (Bouchon et al., 2009).

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα έλαια για τηγάνισμα είναι το φοινικέλαιο, το ηλιέλαιο, το βαμβακέλαιο και το σογιέλαιο, ενώ στο μεσογειακό χώρο είναι το ελαιόλαδο.

1.7.1 Ελαιόλαδο

Ελαιόλαδο χαρακτηρίζεται το έλαιο που λαμβάνεται από τους καρπούς της ελιάς της Ευρωπαϊκής (*Olea europaea*) με μέσα αποκλειστικά μηχανικά και μεθόδους ή επεξεργασίες οπωσδήποτε φυσικές, σε θερμοκρασίες που να μην προκαλούν αλλοίωση του ελαίου. Διακρίνεται για την υψηλή του αναλογία μονοακόρεστων λιπών προς κορεσμένα, το υψηλό περιεχόμενο σε αντιοξειδωτικά συστατικά και την περιεκτικότητά του σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα.

1.7.2 Ηλιέλαιο

Το ηλιέλαιο λαμβάνεται από τους καρπούς του φυτού *Helianthus annuus* που έχουν περιεκτικότητα σε λίπος 22 – 36 %. Το ηλιέλαιο, επειδή περιέχει υψηλό ποσοστό εστέρων πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, παρουσιάζει μικρή οξειδωτική σταθερότητα.

1.7.3 Βαμβακέλαιο

Το βαμβακέλαιο εξάγεται από τους σπόρους του φυτού *Gossypium hirsutum*. Περιέχει υψηλά ποσοστά τοκοφερολών που συμβάλλουν στη σταθερότητά του κατά το τηγάνισμα.

1.7.4 Φοινικέλαιο

Το φοινικέλαιο παράγεται από τον πολτό ή σάρκα του καρπού του φοινικέλαιου - του φρούτου του φοίνικα *Elaeis guineensis*. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή των προτηγανισμένων πατατών και για την παρασκευή τηγανισμένων τροφίμων σε χώρους μαζικής εστίασης, λόγω της υψηλής οξειδωτικής σταθερότητας που παρουσιάζει.

1.8 Τηγανισμένα τρόφιμα

Τα τηγανισμένα τρόφιμα έχουν συγκεκριμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που τα καθιστούν επιθυμητά από τους καταναλωτές. Ανάμεσα σε αυτά είναι το άρωμα, η τραγανή υφή, η ύπαρξη κρούστας και το χρυσαφί – καφέ χρώμα. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται από το είδος του ελαίου, τις συνθήκες τηγανίσματος και τα παραπροϊόντα που σχηματίζονται.

Το τηγάνισμα είναι μια από τις πιο σημαντικές και δημοφιλείς τεχνικές μαγειρέματος. Είναι γρήγορη διαδικασία αφού απαιτεί μικρή προετοιμασία του τροφίμου, ενώ από αυτό προκύπτουν εύγευστα φαγητά.

Το λίπος συμβάλει σημαντικά στο γεγονός ότι τα τηγανητά τρόφιμα καταναλώνονται σε μεγάλη κλίμακα. Η απορρόφηση του λίπους από το τηγανιζόμενο τρόφιμο, η οποία συμβαίνει κατά τη διαδικασία του τηγανίσματος, βοηθάει σημαντικά στην δημιουργία ενός τραγανού τροφίμου με πλούσια γεύση. Βέβαια αυτή η απορρόφηση του λίπους έχει ως αποτέλεσμα τα τηγανισμένα τρόφιμα να έχουν αυξημένο ενεργειακό περιεχόμενο, με αποτέλεσμα η κατανάλωση τηγανητών τροφίμων να συμβάλει στην μεγάλη κατανάλωση λίπους στη διατροφή.

Η υπερκατανάλωση λιπαρών και ειδικότερα των κορεσμένων λιπαρών οξέων έχει συνδεθεί με διάφορες ασθένειες όπως η παχυσαρκία, στεφανιαία νόσος, καρκίνος, σακχαρώδης διαβήτης και υπέρταση (Saguy and Dana, 2003). Επίσης υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης trans- λιπαρών οξέων και της αύξησης των επιπέδων χοληστερόλης στο αίμα.

Αν και πολλές μελέτες από τη δεκαετία του '50 έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση του τηγανίσματος στην ποιότητα των τηγανισμένων ελαίων, συγκριτικά λίγες έχουν ως αντικείμενο τα τηγανισμένα τρόφιμα.

1.9 Επίδραση του τηγανίσματος στα τηγανισμένα τρόφιμα

Το τηγάνισμα έχει μικρή έως καμία επίδραση στο περιεχόμενο των τηγανισμένων τροφίμων σε πρωτεΐνη, μεταλλικά στοιχεία και υδατοδιαλυτές βιταμίνες σε σχέση με το βράσιμο ή ψήσιμο, ενώ το περιεχόμενο των τηγανισμένων πατατών σε διαιτητικές ίνες και βιταμίνη Ε αυξάνει. Η καταστροφή των βιταμινών διαφέρει ανάλογα το χρόνο μαγειρέματος και τη θερμοκρασία.

Το τηγάνισμα σε φριτέζα έχει τρία κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους μαγειρικής:

1. η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τροφίμου ποτέ δε ξεπερνά τους 100°C όσο υπάρχει ακόμα υγρασία στο τρόφιμο
2. ο χρόνος τηγανίσματος είναι συνήθως πολύ σύντομος
3. μεγαλύτερη διατήρηση των υδατοδιαλυτών βιταμινών, αφού δε διαλύονται στο λάδι.

Εκτός όμως από την πιθανή καταστροφή βιταμινών μπορεί τα τηγανητά τρόφιμα να εμπλουτιστούν από τα συστατικά του ελαίου στο οποίο τηγανίζονται. Σύμφωνα με τους Holland et al. (1991) όλα τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται για το τηγάνισμα περιέχουν βιταμίνη Ε και συνεπώς φάνηκε ότι και τα τηγανισμένα τρόφιμα εμπλουτίζονται με σημαντική ποσότητα βιταμίνης Ε.

1.10 Πατάτα

Οι πατάτες άρχισαν να καλλιεργούνται από τους Ινδιάνους της Αμερικής πριν από 4000 - 7000 χρόνια. Ισπανοί ερευνητές την ανακάλυψαν στη Νότιο Αμερική και τη μετέφεραν στην Ευρώπη στις αρχές του 16ου αιώνα. Εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας της σε βιταμίνη C, χρησιμοποιούνταν στα ισπανικά πλοία για την πρόληψη του σκορβούτου. Σήμερα, αυτό το κάποτε μη φημισμένο λαχανικό, αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή προϊόντα προς κατανάλωση σε όλο τον κόσμο.

1.10.1 Η διατροφική αξία της πατάτας

Η πατάτα σε ποσοστό από 75 – 83% αποτελείται από νερό. Αποτελεί πολύ καλή πηγή βιταμίνης C, βιταμίνης B6, καλή πηγή σιδήρου, χαλκού, μαγνησίου και φυτικών ινών. Η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C ανέρχεται σε 11,4 mg ανά 100g νωπής πατάτας.

Όσον αφορά στα μεταλλικά στοιχεία, 100g νωπής πατάτας περιέχουν 413 mg Κάλιο, 3,24 mg σίδηρο, 23 mg μαγνήσιο, και 38 mg φώσφορο.

Ακόμη, περιέχουν μία σειρά ενώσεων με αντιοξειδωτική δράση, όπως καροτενοειδή, φλαβονοειδή και καφεϊκό οξύ. (USDA National Nutrient Database for Standard Reference)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η σύσταση της πατάτας στα κυριότερα στοιχεία της (συγκέντρωση/100g ψητής πατάτας).

Πίνακας 1: Διατροφικά στοιχεία ψητής πατάτας

Διατροφικά στοιχεία	Μονάδα	Τιμή ανά 100 g
Νερό	g	47,31
Ενέργεια	kcal	198
Πρωτεΐνη	g	4,29
Λιπίδια	g	0,10
Υδατάνθρακες	g	46,06
Διαιτητικές Ίνες	g	7,9
Σάκχαρα	g	1,40
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ		
Ασβέστιο, Ca	mg	34
Σίδηρος, Fe	mg	7,04
Μαγνήσιο, Mg	mg	43
Φώσφορος, P	mg	101
Κάλιο, K	mg	573
Νάτριο, Na	mg	21
Ψευδάργυρος, Zn	mg	0,49
Χαλκός, Cu	mg	0,817
Μαγγάνιο, Mn	mg	0,616
Σελήνιο, Se	mcg	0,7
ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ		
Βιταμίνη C	mg	13,5
Θειαμίνη	mg	0,122
Ριβοφλαβίνη	mg	0,106
Νιασίνη	mg	3,065
Παντοθενικό οξύ	mg	0,857
Βιταμίνη B-6	mg	0,614
β καροτένιο	mcg	6
Βιταμίνη A, IU	IU	10
Βιταμίνη E	mg	0,04
Βιταμίνη K	mcg	1,7
ΛΙΠΙΔΙΑ		
Κορεσμένα	g	0,026
Μονοακόρεστα	g	0,002
Πολυακόρεστα	g	0,043
Χοληστερόλη	mg	0

USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23 (2010)

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, 100 g ψημένης πατάτας παρέχουν μεγάλο ποσοστό της ημερήσιας πρόσληψης σε βιταμίνη B6 . Επίσης, οι διαιτητικές ίνες, που εντοπίζονται κυρίως στη φλούδα της πατάτας, βοηθούν στην κανονική λειτουργία του εντέρου και προστατεύουν από τον καρκίνο του παχέος εντέρου και του ορθού (Mindel, 1994).

1.11 Αντιοξειδωτικά

1.11.1 Αντιοξειδωτικά στα τρόφιμα

Τα αντιοξειδωτικά είναι συνθετικές ενώσεις ή φυσικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στα τρόφιμα με στόχο την καθυστέρηση των αντιδράσεων αυτοξείδωσης των λιπιδικών συστατικών τους. Δεν μπορούν να επιρεάσουν τον τελικό βαθμό οξείδωσης, καθυστερούν όμως σημαντικά τα αρχικά στάδια της αυτοξείδωσης.. Μερικά φυσικά αντιοξειδωτικά είναι οι τοκοφερόλες, που αποτελούν φυσιολογικά συστατικά των ελαίων, προστατεύοντας το λάδι από την αυτοξείδωση (Διατροφή και χημεία τροφίμων 2007).

Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις χρησιμοποιούνται για την συντήρηση και προστασία των τροφίμων από την τάγγιση και τον αποχρωματισμό που συμβαίνουν κατά την οξείδωση. Ωστόσο δεν αντιστρέφουν την οξείδωση των ήδη ταγγισμένων ελαίων, δηλαδή την υδρόλυση των λιπών προς ελεύθερα λιπαρά οξέα με τη δράση των λιπολυτικών ενζύμων (Μπόσκου, 1997).

Ένα αντιοξειδωτικό πρέπει να συνδυάζει τις εξής ιδιότητες:

- ➔ Να είναι αποτελεσματικό σε πολύ μικρή περιεκτικότητα
- ➔ Να μην έχει καμία βλαβερή επίδραση στην υγεία του ανθρώπου
- ➔ Να μην προσδίδει στο τρόφιμο δυσάρεστη οσμή και γεύση
- ➔ Να είναι, έστω και ελάχιστα, λιποδιαλυτό
- ➔ Να είναι όσο γίνεται σταθερό στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του τροφίμου (Μπόσκου, 1997)

Τα αντιοξειδωτικά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες

1. Πρωτοταγή αντιοξειδωτικά

Τα πρωτοταγή αντιοξειδωτικά διακόπτουν τις αντιδράσεις διάδοσης, παρέχοντας άτομα υδρογόνου στις ελεύθερες ρίζες. Η χημική δομή ενός αντιοξειδωτικού πρέπει να είναι τέτοια, ώστε όχι μόνο να αδρανοποιεί την υπεροξειδική ρίζα, αλλά να σχηματίζει το ίδιο μία ρίζα με χαμηλή δραστηριότητα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φαινολικές ενώσεις, οι

τοκοφερόλες, το καφεϊκό οξύ, η καρνασόλη, το ροσμαρινικό οξύ κ.α. Οι φαινολικές ενώσεις είναι τα πιο γνωστά πρωτοταγή αντιοξειδωτικά. Δρουν ως βιολογικά αντιοξειδωτικά στα φυτά και στους ζωϊκούς ιστούς, προστατεύοντας τα συστήματα αυτά από την οξείδωση. Μέρος των τοκοφερολών χάνεται στα διάφορα στάδια επεξεργασίας των ελαίων, ενώ το υπόλοιπο συμβάλλει στην αύξηση του ορίου συντήρησης του εξευγενισμένου ελαίου. Τα φαινολικά αντιοξειδωτικά δρουν μέσω του μηχανισμού των ελεύθερων ριζών. Αντιδρούν με αυτές και σχηματίζουν ενώσεις που δεν έχουν την τάση να δίνουν νέες ελεύθερες ρίζες. Η δράση των φαινολικών αντιοξειδωτικών αυξάνεται όταν χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό, φαινόμενο που καλείται «συνέργεια» ή «συνεργισμός» ή «συνεργιστική δράση» (Μπόσκου, 1997).

2. Δευτεροταγή αντιοξειδωτικά

Τα δευτεροταγή αντιοξειδωτικά είναι ενώσεις που καθυστερούν το ρυθμό έναρξης των αλυσιδωτών αντιδράσεων. Τα συνεργιστικά αντιοξειδωτικά δρουν ως δότες οξυγόνου στη φαινοξυ – ρίζα, και αναγεννούν το πρωτογενές αντιοξειδωτικό. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κάποιες ομάδες αντιοξειδωτικών με διαφορετικές ιδιότητες:

- Δεσμευτές μετάλλων: δεσμεύουν μέταλλα τα οποία με μεταφορά ηλεκτρονίων δημιουργούν ελεύθερες ρίζες. Τέτοιες ενώσεις είναι τα οξέα ή παράγωγα τους που σχηματίζουν χηλικές ενώσεις, όπως το EDTA, το κιτρικό οξύ και το φωσφορικό οξύ.
- Δεσμευτές οξυγόνου: αντιδρούν με το οξυγόνο και ελαττώνουν τη συγκέντρωσή του σε ένα κλειστό σύστημα. Τέτοιες ενώσεις είναι το ασκορβικό οξύ και οι εστέρες του.
- Αναγωγικά: αναγεννούν φαινόλες και εμφανίζουν το φαινόμενο του συνεργισμού. Το ασκορβικό οξύ, με τη μορφή εστέρων με λιπαρά οξέα (για να είναι λιποδιαλυτό), πιστεύεται ότι αναγεννά τα φαινολικά αντιοξειδωτικά, παρέχοντας υδρογόνο στις φαινοξυ-ρίζες και έτσι έχει μια έμμεση δράση ως αντιοξειδωτικό. Ως αναγωγικό το ασκορβικό οξύ μεταφέρει άτομα υδρογόνου στις κινόνες, που σχηματίζονται στην ενζυμική αμαύρωση των φαινολικών ουσιών και αυτό παρέχει μια προστασία στις πρόσφατα κομμένες επιφάνειες των φρούτων και λαχανικών.
- Αποσβέστες διηγερμένου οξυγόνου: απενεργοποιούν το μονήρες οξυγόνο. Τέτοιες ενώσεις είναι οι τοκοφερόλες και το β-καροτένιο.
- Ένζυμα που λειτουργούν ως αντιοξειδωτικά: απομακρύνουν ενεργά είδη οξυγόνου. Τέτοια ένζυμα είναι η δισμουτάση σουπεροξειδίου, η υπεροξειδάση γλουταθειόνης, η

οξειδάση της γλυκόζης και η καταλάση.

- Η μεθυλοσιλικόνη και οι στερόλες με αιθυλιδενική πλευρική αλυσίδα:(όπως το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο) εμποδίζουν τον οξειδωτικό πολυμερισμό σε θερμαινόμενα έλαια.
- Αντιοξειδωτικά με πολλαπλή ή μη πλήρως γνωστή δράση όπως φωσφολιπίδια και προϊόντα των αντιδράσεων Maillard (Μπόσκου, 1997).

1.11.2 Αντιοξειδωτικά και ανθρώπινος οργανισμός

Ως αντιοξειδωτικά ορίζονται οι ουσίες που μπορούν να παρεμποδίσουν τις αντιδράσεις των ελεύθερων ριζών, προστατεύοντας έτσι τον οργανισμό από την επιβλαβή δράση τους (Krause). Παρόλο που το ανθρώπινο σώμα έχει έναν φυσικό αντιοξειδωτικό μηχανισμό που το προστατεύει από την καταστροφή των κυττάρων, ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως ο καπνός των τσιγάρων, το καυσαέριο, η ακτινοβολία του ηλιακού φωτός και το άγχος, μπορούν να αυξήσουν τις ελεύθερες ρίζες. Σύμφωνα με την υπόθεση των ελευθέρων ριζών, οι σχετιζόμενες με την ηλικία αλλαγές συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της αδυναμίας του οργανισμού να αντεπεξέλθει στο οξειδωτικό στρες, που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ζωής. Ως οξειδωτικό στρες ορίζεται η ανισορροπία μεταξύ οξειδωτικών και αντιοξειδωτικών ουσιών σε βάρος των δεύτερων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται οξειδωτικές βλάβες σε μόρια όπως το DNA, λιπίδια και πρωτεΐνες. Τα αντιοξειδωτικά είναι αναγκαία για τον οργανισμό, αφού προστατεύουν από την καταστρεπτική δράση των ελευθέρων ριζών.

Η δράση των αντιοξειδωτικών οφείλεται κυρίως στη διακοπή των αλυσωτών αντιδράσεων των ελευθέρων ριζών ή στην αποσύνθεση των υπεροξειδίων σε σταθερά τελικά προϊόντα.

1.12 Φυτοστερόλες

Στα έλαια και στα λίπη απαντούν διάφορες αλκοόλες, όπως άκυκλες αλκοόλες στερόλες, κ.α. Οι στερόλες είναι ενώσεις που σχετίζονται χημικώς με τα χολικά οξέα, τις σεξουαλικές ορμόνες και την προβιταμίνη D. Όλες αυτές οι ενώσεις είναι παράγωγα του κυκλοπέντανο-περυδροφαινανθρενίου. Οι στερόλες είναι ευρύτατα διαδεδομένες στη φύση

και ανήκουν στα μη σαπωνοποιήσιμα συστατικά πολλών λιπών και ελαίων, δηλαδή στα συστατικά τα οποία κατά την επίδραση διαλυμάτων αλκαλίων δε διασπώνται. Οι στερόλες βρίσκονται στη φύση είτε ελεύθερες είτε ενωμένες ως εστέρες ή γλυκοζίτες. Διακρίνονται ανάλογα με την προέλευση τους σε ζωικές και φυτικές στερόλες. Οι τελευταίες διακρίνονται περαιτέρω σε φυτοστερόλες και μυκοστερόλες (οι οποίες βρίσκονται στο λιπιδικό κλάσμα της μαγιάς). Από τις ζωικές στερόλες ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χοληστερόλη. Απαντάται σε όλα τα ανθρώπινα κύτταρα και επιτελεί σπουδαίες βιολογικές λειτουργίες, όπως η χρήση της ως πρόδρομη ένωση στο σχηματισμό βιταμίνης D, ενώ μαζί με τα χολικά οξέα συντελεί στην γαλακτωματοποίηση των λιπών της τροφής και συνεπώς στην αφομοίωσή τους. Τέλος χρησιμοποιείται στη βιοσύνθεση σεξουαλικών ορμονών που είναι απαραίτητες για την διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του γυναικείου και του αντρικού φύλου.

Οι φυτοστερόλες πιστεύεται ότι έχουν ευεργετικές ιδιότητες, όπως η υποχοληστεριναιμική δράση τους. Αυτή πιθανώς οφείλεται στη χημική τους δομή η οποία παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή της χοληστερόλης με αποτέλεσμα να μειώνουν την απορρόφηση της τελευταίας στο έντερο. Έτσι η κατανάλωση φυτοστερολών και φυτοστανολών οδηγεί σε μείωση των επιπέδων της στο αίμα. Ωστόσο να σημειωθεί αυτά τα αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί μόνον σε μελέτες όπου χρησιμοποιήθηκαν υψηλές δόσεις φυτοστερολών (1 - 3g ημερησίως), ποσότητα που δύσκολα είναι εφικτή μέσω της λήψης μόνο φυτικών τροφών. Πάντως είναι πολύ πιθανό η ποσότητα των φυτοστερολών που λαμβάνεται με διατροφή πλούσια σε φυτικά έλαια, να προσφέρει πλεονεκτήματα όσον αφορά στη συγκέντρωση της χοληστερόλης στο αίμα και ιδιαίτερα σε άτομα που ακολουθούν διατροφή πλούσια σε χοληστερόλη ή σε υπερλιπιδαιμικούς ασθενείς.

Υλικά και μέθοδοι

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή η πειραματική διαδικασία χωρίζεται σε δυο κύρια μέρη.

2.1 Μέρος Α

2.1.1 Περιγραφή

Στο πρώτο μέρος έγινε ανάλυση των δεδομένων της διδακτορικής διατριβής της Φωτεινής Σάλτα (2007) με τίτλο: <<Ανάλυση και αξιολόγηση μικροσυστατικών και παραπροϊόντων τηγανίσματος σε έλαια και πατάτες>>.

Συγκεκριμένα έγιναν αναλύσεις της περιεκτικότητας τηγανισμένων πατατών σε β-σιτοστερόλη και ολικές φυτοστερόλες. Επιλέχθηκαν 5 έλαια (ελαιόλαδο, ηλιέλαιο, φοινικέλαιο, βαμβακέλαιο και μίγμα (αποτελούμενο από ηλιέλαιο, φοινικέλαιο και βαμβακέλαιο). Στα έλαια αυτά τηγανίσθηκαν πατάτες υπό δυο διαφορετικές συνθήκες τηγανίσματος (ρηχό και βαθύ τηγάνισμα) και με το κάθε έλαιο πραγματοποιήθηκαν 8 διαδοχικά τηγανίσματα για κάθε είδος συνθηκών. Οι πατάτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν προτηγανισμένες με διαστάσεις 10 cm μήκος και 1 cm πάχος.

2.2 Μέρος Β

2.2.1 Περιγραφή

Επιλέχθηκαν 3 έλαια (ελαιόλαδο, ηλιέλαιο και μίγμα ελαίων αποτελούμενο από ηλιέλαιο και αραβοσιτέλαιο). Στα έλαια αυτά τηγανίσθηκαν πατάτες σε φριτέζα (βαθύ τηγάνισμα). Οι πατάτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φρέσκοι. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε τρεις φορές για κάθε έλαιο, χρησιμοποιώντας κάθε φορά φρέσκο λάδι της ίδιας παρτίδας.

Υλικά

- Νωπές πατάτες Νευροκοπίου.
- Έλαια:

Ελαιόλαδο, εμπορικά διαθέσιμο

Ηλιέλαιο, εμπορικά διαθέσιμο

Μίγμα ελαίων αποτελούμενο από ηλιέλαιο και αραβοσιτέλαιο

Όργανα:

- Φριτέζα Kenwood (Havant, UK)
- Ζυγός ακριβείας: ANALYTICAL Standard της εταιρείας OHAUS.
- Παχύμετρο
- Διάταξη οικιακών συσκευών για ομοιόμορφη κοπή δειγμάτων

Στα δείγματα ελαίων και πατάτας έγιναν οι εξής αναλύσεις:

Στο έλαιο:

- ◆ Προσδιορισμός φυτοστερολών με GC / FID.

Στην πατάτα (φρέσκια και τηγανισμένη):

- ◆ Προσδιορισμός υγρασίας με λυοφιλίωση.
- ◆ Προσδιορισμός φυτοστερολών με GC / FID.

2.2.2 Τηγάνισμα

2.2.1.1 Διαδικασία βαθέως τηγανίσματος

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων ακολουθήθηκε ο τρόπος οικιακού τηγανίσματος. Φρέσκοις πατάτες κόπηκαν σε φέτες μέσης διαμέτρου 7 mm και φυλάχθηκαν σε λεκάνη με νερό έως την έναρξη του τηγανίσματος. Έλαιο (2 L) τοποθετήθηκε στον κάδο της φριτέζας οικιακού τηγανίσματος. Από το έλαιο παραλήφθηκαν αρχικά 10 mL (δείγμα φρέσκου ελαίου) και στη συνέχεια θερμάνθηκε έως και τους 170°C σύμφωνα με την ένδειξη του θερμοστάτη, που ελεγχόταν με τη χρήση θερμομέτρου υδραργύρου. Έλαβαν χώρα 3 τηγανίσματα με τον ίδιο τύπο ελαίου, χρησιμοποιώντας σε κάθε τηγάνισμα φρέσκο έλαιο. Η διάρκεια κάθε τηγανίσματος ήταν 20 λεπτά. Κάθε 2 λεπτά λαμβάνονταν δείγματα πατάτας (3 φέτες) με λαβίδα, καθώς και ελαίου (10 mL). Από τα δείγματα πατάτας απομονώναμε το κέντρο κάθε φέτας πατάτας με κυλινδρικές τομές. Αυτό το επιτύχαμε με τη βοήθεια πλαστικής διάταξης κοπής. Έτσι απομακρύνθηκε το περίβλημα για την αποφυγή της διάχυσης των αντιοξειδωτικών από τις πλαϊνές επιφάνειες προς τον πυρήνα. Τέλος μετρήθηκαν τα πάχη των δειγμάτων με τη βοήθεια παχυμέτρου, με ακρίβεια χιλιοστού.

2.2.1.2 Δείγματα

Υλικά

- Πλαστικά δοχεία για αποθήκευση τηγανισμένης πατάτας (ουροσυλλέκτες)
- Δοκιμαστικοί σωλήνες με βιδωτό πώμα για συλλογή δειγμάτων ελαίου τηγανίσματος
- Μεμβράνη για αεροστεγές κλείσιμο (parafilm)

Τα δείγματα ελαίου φυλάχθηκαν στην κατάψυξη (-20°C).

Τα δείγματα πατάτας ζυγίστηκαν άμεσα μετά την παραλαβή τους και αφού κρύωσαν αποθηκεύθηκαν στην κατάψυξη για να ακολουθήσει λυοφιλίωση για τον προσδιορισμό της

υγρασίας. Το έλαιο τηγανίσματος ζυγίστηκε πριν από κάθε επόμενο τηγάνισμα για τον υπολογισμό του προσροφημένου ελαίου από τις πατάτες.

2.2.3 Απομάκρυνση της υγρασίας από τις τηγανισμένες πατάτες (Λυοφιλίωση)

2.2.3.1 Αντιδραστήρια – Όργανα

- Ζυγός ακριβείας: Analytical Standard
- Συσκευή λυοφιλίωσης: Cryodos της εταιρείας Telestar
- Ουροσυλλέκτες για την αποθήκευση των δειγμάτων
- Μεμβράνη για αεροστεγές κλείσιμο (parafilm)

2.2.3.2 Αναλυτική πορεία

Προζυγισμένη ποσότητα τηγανισμένων πατατών υποβλήθηκε σε λυοφιλίωση για την απομάκρυνση της υγρασίας. Η λυοφιλίωση είναι μία μέθοδος αφυδάτωσης των τροφίμων σε ήπιες συνθήκες όπου υπάρχει μικρός κίνδυνος καταστροφής των ευαίσθητων συστατικών του δείγματος. Στο λυοφιλιωτή η πίεση είναι <1 mbar και η θερμοκρασία τουλάχιστον -55°C . Η όλη διαδικασία διαρκεί 24 h και η διαφορά βάρους πριν και μετά την λυοφιλίωση αντιστοιχεί στην περιεχόμενη υγρασία.

2.2.4 Προσδιορισμός του απορροφηθέντος ελαίου από τις τηγανισμένες πατάτες

2.2.4.1 Αντιδραστήρια - Όργανα

- Εξάνιο/BHT
- Δοκιμαστικοί σωλήνες με βιδωτό πώμα
- Ζυγός ακριβείας: Analytical Standard

2.2.4.2. Αναλυτική πορεία

Ο προσδιορισμός του απορροφηθέντος ελαίου από τις τηγανισμένες πατάτες πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\% \text{ απορροφηθεν ελαιο} = \frac{\text{μαζα (g) απορροφηθεντος ελαιου}}{\text{μαζα (g) τηγανισμενης πατατας}} \times 100$$

Η μάζα (g) του απορροφηθέντος ελαίου υπολογίσθηκε έπειτα από εκχύλιση με εξάνιο/BHT και εξάτμιση του διαλύτη σε περιστροφικό εξατμιστήρα υπό κενό (*speerd vac*).

2.2.5 Μέθοδος παραλαβής των στερολών

2.2.5.1 Μέθοδος παραλαβής των στερολών από τηγανισμένα έλαια

2.2.5.1.1 Όργανα - Αντιδραστήρια

- Ζυγός ακριβείας
- Δοκιμαστικοί σωλήνες με βιδωτά πώματα
- Σπάτουλα
- Πιπέτες Pasteur
- Ρυθμιζόμενες πιπέτες 100-1000 μL

- Φυγόκεντρος
- Φυγοκεντρική συσκευή εξάτμισης (speed-vac)
- Υδατόλουτρο
- Φιαλίδια GC (vials) και πώματα (cups)
- Διάλυμα KOH 2 M
- BF₃/MeOH
- Διάλυμα κορεσμένου NaCl
- Εξάνιο/BHT
- Εσωτερικό πρότυπο 5α-χολεστάνιο

2.2.5.2 Αναλυτική πορεία

- Έλαιο ζυγίζεται με ακρίβεια (0,1 g).
- Προστέθηκαν στα δείγματα από 2 mL KOH (2 M).
- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Στη συνέχεια θερμάνθηκε σε υδατόλουτρο στους 90 °C για 15 min.
- Ακολούθησε προσθήκη BF₃:MeOH (1,5 mL).
- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Τα δείγματα θερμάνθηκαν σε υδατόλουτρο στους 90 °C για 2 min,
- Προστέθηκε διάλυμα κορεσμένου NaCl (5 mL),
- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Ακολούθησε προσθήκη 2 mL εξανίου.
- Φυγοκεντρήθηκε στις 3000 rpm για 5 min.
- Παραλήφθηκε με ρυθμισμένη πιπέτα, με προσοχή, 1 mL από την υπερκείμενη στιβάδα τα οποία τοποθετούμε σε vials αέριας χρωματογραφίας.

- Στα vials προστέθηκαν και 200μl διαλύματος 5-α χολεστανίου (εσωτερικό πρότυπο) σφραγίστηκαν.
- Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη (-40 °C) μέχρι τη σιλικώσή τους.

2.2.6 Μέθοδος παραλαβής των στερολών από τηγανισμένες πατάτες

2.2.6.1 Αναλυτική πορεία

- Τηγανητή πατάτα που έχει τεμαχιστεί και λυοφιλοποιηθεί ζυγίστηκε με ακρίβεια (0,5 g).
- Προστέθηκαν σε κάθε σωλήνα 5 mL διαιθυλαιθέρα.
- Αναταράχθηκε έντονα με vortex.
- Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν επί 5 min στις 3000 στροφές.
- Παραλήφθηκε ο διαλύτης με τη βοήθεια πιπετών Pasteur και μεταφέρουμε σε άδειους προζυγισμένους σωλήνες.
- Επαναλήφθηκαν τα προηγούμενα 4 στάδια εκ νέου στους δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν τα δείγματα πατάτας.
- Τα προζυγισμένα σωληνάκια τοποθετήθηκαν στη συσκευή speed vac έως ότου εξατμιστεί ο διαλύτης.
- Μετά την απομάκρυνση του διαλύτη ζυγίστηκαν οι δοκιμαστικοί σωλήνες. Η διαφορά τους αποτελεί το σύνολο των λιπαρών της πατάτας.
- Προστέθηκαν στα δείγματα από 2 mL KOH (2 M).
- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Στη συνέχεια θερμάνθηκε σε υδατόλουτρο στους 90 °C για 15 min.
- Ακολούθησε προσθήκη $\text{BF}_3 \cdot \text{MeOH}$ (1,5 mL).

- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Τα δείγματα θερμάνθηκαν σε υδατόλουτρο στους 90 °C για 2 min,
- Προστέθηκε διάλυμα κορεσμένου NaCl (5 mL),
- Το μίγμα αναδεύτηκε έντονα με vortex.
- Ακολούθησε προσθήκη 2 mL εξανίου.
- Φυγοκεντρήθηκε στις 3000 rpm για 5 min.
- Παραλήφθηκε με ρυθμισμένη πιπέτα, με προσοχή, 1 mL από την υπερκείμενη στιβάδα τα οποία τοποθετούμε σε vials αέριας χρωματογραφίας.
- Στα vials προστέθηκαν και 200μl διαλύματος 5-α χολεστανίου (εσωτερικό πρότυπο) σφραγίστηκαν.
- Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στην κατάψυξη (-40 °C) μέχρι τη σιλυλίωσή τους.

2.2.7 Σιλυλίωση

2.2.7.1 Όργανα - Αντιδραστήρια

- Ώδοκιμαστικοί σωλήνες
- Ρυθμιζόμενη πιπέτα 100-1000μL
- Υδατόλουτρο
- Πώματα για φιαλίδια (vials) GC
- Διάλυμα BSTFA (bis-(trimethylsilyl)-trifluoroacetamide) σε πυριδίνη

2.2.7.2 Αναλυτική πορεία

- Βγάζουμε τα δείγματα από την κατάψυξη και αφού τα αφήσουμε λίγο σε θερμοκρασία δωματίου ανοίγουμε τα vials, στα οποία περιέχονται.

- Τοποθετούμε τα vials στον περιστροφικό εξάτμιστήρα (speed vac), ώστε να επιτευχθεί εξάτμιση μέχρι ξηρού και στη συνέχεια προσθέτουμε σε καθένα από αυτά 250μL BSTFA.
- Σφραγίζουμε ξανά τα vials και τα βάζουμε μέσα σε δοκιμαστικούς σωλήνες, χωρίς καπάκια, τους οποίους στη συνέχεια τους τοποθετούμε στο υδατόλουτρο στους 70 για 20 λεπτά, ώστε να ολοκληρωθεί η σιλυλίωση.
- Αφού κρυώσουν τα vials είναι έτοιμα για προσδιορισμό στερολών με αέρια χρωματογραφία.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

3.1 Μέρος Α

Στο πρώτο μέρος της πτυχιακής αυτής μελέτης έγινε περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων της διδακτορικής διατριβής της Φωτεινής Σάλτα, κυρίως για την έκφραση της κινητικής μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών, αλλά και την εύρεση των αντίστοιχων κινητικών σταθερών. Τα δεδομένα αυτά που επεξεργαστήκαμε φαίνονται στους δυο παρακάτω πίνακες και έχουν προκύψει έπειτα από προσδιορισμό των φυτοστερολών τόσο στα τηγανισμένα έλαια, όσο και τις πατάτες με χρήση GC/FID.

Πίνακας 2: Φυτοστερόλες στα έλαια (αθέρμαστα και τηγανισμένα) εκφρασμένα σε mg/100 g ελαίου (Σάλτα, 2007).

<i>Τηγάνισμα</i>	<i>Ελαιόλαδο</i>		<i>Ηλιέλαιο</i>		<i>Βαμβακέλαιο</i>		<i>Φοινικέλαιο</i>		<i>Μίγμα ελαίων</i>	
	<i>P.T.</i>	<i>B.T.</i>	<i>P.T.</i>	<i>B.T.</i>	<i>P.T.</i>	<i>B.T.</i>	<i>P.T.</i>	<i>B.T.</i>	<i>P.T.</i>	<i>B.T.</i>
<i>β-Σιτοστερόλη</i>										
0	141,0	141,0	177,0	177,0	349,5	349,5	71,2	71,2	287,3	287,3
1	137,5	141,3	92,6	157,0	166,2	345,0	57,8	64,6	239,5	242,4
2	116,8	136,1	91,1	149,5	151,6	336,5	54,5	62,6	201,1	208,0
3	103,0	120,7	77,2	146,6	138,0	328,0	54,3	61,4	157,3	203,5
4	100,9	119,9	77,0	119,4	133,9	320,0	53,9	59,1	140,6	195,7
5	91,0	118,4	75,9	111,3	123,9	309,8	51,5	40,8	125,5	207,6
6	90,1	94,1	80,0	106,9	121,2	256,1	50,8	35,5	116,9	208,7
7	86,2	90,1	74,7	102,9	117,2	236,0	46,0	35,9	73,3	194,5
8	82,4	86,8	73,4	102,2	86,6	213,6	44,3	35,0	63,8	109,3
<i>Ολικές φυτοστερόλες</i>										
0	179,2	179,2	225,4	225,4	402,6	402,6	115,3	115,3	356,5	356,5
1	170,2	174,5	116,0	198,5	194,5	396,9	92,2	105,5	289,6	303,4
2	145,0	166,5	115,7	187,7	177,5	385,9	86,5	93,7	242,1	260,5
3	129,3	148,7	97,3	182,4	162,4	373,7	83,3	90,6	192,2	253,6
4	126,4	147,0	97,2	153,1	157,5	364,3	81,4	84,9	171,0	244,9
5	113,8	145,0	95,1	142,4	146,7	351,5	78,3	63,7	150,5	255,7
6	111,0	113,8	101,4	135,9	143,3	295,4	76,7	57,6	139,8	256,0
7	105,5	107,8	96,0	128,6	138,2	273,0	70,3	55,9	91,4	239,1
8	98,4	99,7	93,8	126,5	103,3	246,8	67,8	54,2	80,6	139,6

Όπου: B.T.: Βαθό τηγάνισμα και P.T.: Ρηχό τηγάνισμα.

Πίνακας 3: Φυτοστερόλες στις τηγανητές πατάτες εκφρασμένα σε mg / 100 g πατάτας
(Σάλλα, 2007)

Τηγάνι σμα	Ελαιόλαδο		Ηλιέλαιο		Βαμβακέλαιο		Φοινικέλαιο		Μίγμα ελαίων	
	P.T.	B.T	P.T.	B.T	P.T.	B.T	P.T.	B.T	P.T.	B.T.
β-Σιτοστερόλη										
0					3,8					
1	11,4	13,2	7,6	34,9	42,9	49,3	7,9	13,5	26,7	11,9
2	8,5	12,6	7,5	34,2	41,1	48,1	7,2	8,7	16,8	11,0
3	7,8	10,1	7,4	33,7	39,4	47,5	6,4	8,1	16,3	8,6
4	7,6	7,4	7,1	32,9	39,1	47,0	5,4	8,0	15,6	5,2
5	7,2	6,7	6,1	24,6	35,2	45,7	4,9	7,9	15,0	3,9
6	6,9	6,0	6,1	24,3	33,3	43,0	4,1	6,8	14,0	3,4
7	4,6	6,0	6,0	23,0	33,2	39,7	3,5	6,4	10,2	2,9
8	3,8	4,8	5,8	21,8	31,2	38,4	1,5	5,5	4,9	2,1
Ολικές φυτοστερόλες										
0					5,3					
1	17,5	17,6	9,8	45,9	50,2	59,9	14,2	20,8	34,5	14,9
2	13,1	16,6	9,6	44,5	48,3	56,5	11,6	14,0	22,1	13,8
3	12,1	12,9	9,4	43,9	46,5	55,6	10,3	12,4	21,2	10,5
4	11,7	9,9	9,0	41,7	46,2	54,7	8,7	12,0	20,1	6,8
5	11,2	9,2	7,7	32,0	41,9	53,1	7,4	11,5	19,2	5,3
6	10,6	8,3	7,6	31,5	39,8	50,3	6,1	10,3	18,1	4,7
7	8,1	8,2	7,5	29,9	39,6	46,7	5,1	9,6	13,4	3,9
8	7,2	6,9	7,2	28,2	37,5	45,1	2,4	8,2	6,5	3,0

Όπου: B.T.: Βαθύ τηγάνισμα και P.T.: Ρηχό τηγάνισμα.

3.1.2 Μελέτη κινητικής μείωσης

Αρχικά μελετήσαμε την κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών στα 5 διαφορετικά έλαια που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για το ρηχό όσο και το βαθύ τηγάνισμα, καθ'όλη τη διαδικασία των 8 διαδοχικών τηγανισμάτων που εκτελέστηκαν για κάθε περίπτωση. Η μείωση αυτή, που συνεπάγεται και μια ποιοτική υποβάθμιση των ελαίων, οφείλεται κατά ένα ποσοστό στην απορρόφηση των παραπάνω συστατικών από τις τηγανιζόμενες πατάτες και τη μετέπειτα απομάκρυνσή τους από τη φριτέζα μετά το τέλος κάθε τηγανίσματος και αφετέρου στην εξαφάνιση – καταστροφή τους λόγω της θερμικής καταπόνησης που υπέστησε το λάδι κατά τη διάρκεια των διαδοχικών τηγανισμάτων.

Από την επεξεργασία των δεδομένων στους παραπάνω Πίνακες (2 και 3) εκτιμήσαμε τα ποσοστά της απορρόφησης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών από τις πατάτες. Επίσης μελετήθηκε και η κινητική του ρυθμού μείωσης (καταστροφής) των δύο αυτών μικροσυστατικών στα έλαια. Η μείωση αυτή όμως δεν οφείλεται στην απορρόφηση από τις τηγανιζόμενες πατάτες, αλλά σε διαφορετικά αίτια που αφορούν την ποιοτική υποβάθμιση των ελαίων κατά τη θερμική διεργασία του τηγανίσματος. Την υποβάθμιση αυτή στα έλαια μπορεί να προκαλέσει π.χ. η πιθανή αποικοδόμηση των φυτοστερολών, οι οποίες ως γνωστόν οξειδώνονται σε οξυ-στερόλες, φαινόμενο το οποίο υποβοηθείται με την παρουσία της θερμότητας και είναι ιδιαίτερα έντονο κατά το ρηχό τηγάνισμα, όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαθέσιμου οξυγόνου σε επαφή με το έλαιο. Η τελική επεξεργασία των δεδομένων και η εκτίμηση της βέλτιστης κινητικής, που εκφράζει το ρυθμό υποβάθμισης των ελαίων κατά το τηγάνισμα όσον αφορά τα μικροσυστατικά που προαναφέρθηκαν, έγινε με χρήση προγράμματος Microsoft EXCEL.

Ειδικότερα εκτιμήθηκαν οι συνολικές σταθερές ρυθμού μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών για κάθε οκτάδα διαδοχικών τηγανισμάτων (ρηχό – βαθύ) και κάθε είδος ελαίου ξεχωριστά. Για να προκύψουν οι τιμές των σταθερών εφαρμόστηκαν στα πειραματικά μας δεδομένα δοκιμές, υποθέτοντας ότι ακολουθούνται κινητικές μηδενικής, πρώτης και δευτέρας τάξεως, προκειμένου τελικά να επιλέξουμε την τάξη της αντίδρασης μείωσης που επαληθεύει καλύτερα τα πειραματικά μας αποτελέσματα. Κριτήριο για την επιλογή της βέλτιστης τάξης κινητικής αποτέλεσαν οι συντελεστές συσχέτισης R οι οποίοι για επιλογή κινητικής μείωσης 1^{ης} τάξης βρέθηκαν κατά μέσον όρο υψηλότεροι από τους αντίστοιχους όταν επιλέχθηκαν κινητικές μηδενικής και δεύτερης τάξης.

Επιλογή ίδιας τάξης κινητικής έγινε, με βάση τη βιβλιογραφία, και από τους Krokida et al. (2000), οι οποίοι συμπέραναν ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά το τηγάνισμα (απώλεια νερού και απορρόφηση ελαίου) μπορούν να περιγραφούν από ένα μοντέλο κινητικής πρώτης τάξης. Σε άλλες περιπτώσεις της βιβλιογραφίας αναπτύχθηκε μοντέλο κινητικής πρώτης τάξης για την απορρόφηση του ελαίου τόσο από τους Moreira et al. (1995) όσο και από τους Bouchon et al. (2003).

Οι τιμές των σταθερών ρυθμού μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών φαίνονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές συσχέτισης R που προέκυψαν από το πρόγραμμα EXCEL. Για τον υπολογισμό των σταθερών ρυθμού k χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση που αντιστοιχεί στο μοντέλο κινητικής πρώτης τάξης, το οποίο και επιλέχθηκε ως βέλτιστο:

$$\ln(C/C_0) = -k t \quad (1)$$

όπου:

- **C₀** η συγκέντρωση των φυτοστερολών εντός του αρχικού μη τηγανισμένου ελαίου
- **C** η συγκέντρωση των φυτοστερολών εντός του ελαίου στο τέλος καθενός από τα 8 διαδοχικά τηγανίσματα, με την υπόθεση ότι αυτή είναι μειωμένη ως προς τη **C₀** μόνο λόγω της καταστροφής των φυτοστερολών και όχι της απορρόφησής τους εντός των τηγανισμένων πατατών
- **k** σταθερά ρυθμού μείωσης των φυτοστερολών στα έλαια
- **t** ο αθροιστικός χρόνος διαδοχικών τηγανισμάτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε ρηχό τηγάνισμα διαρκεί 6 min και κάθε βαθύ 9 min

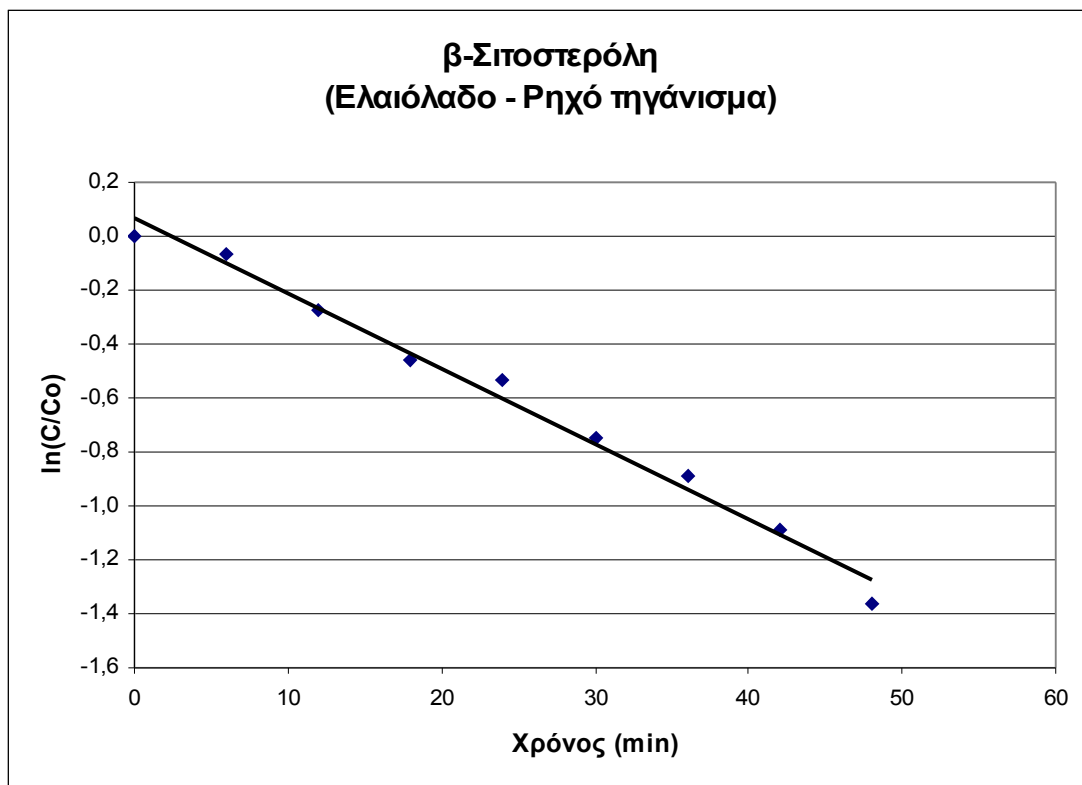
Εφαρμόζοντας τη σχέση (1) για κάθε έλαιο και κάθε είδος τηγανίσματος (ρηχό – βαθύ) προκύπτουν 8 ζεύγη τιμών [$\ln(C/C_0)$, t] (ένα για καθένα από τα 8 διαδοχικά τηγανίσματα), τα οποία παριστάνονται σε διαγράμματα EXCEL. Με βάση τα 8 σημεία που προκύπτουν σε κάθε διάγραμμα, χαράχθηκαν οι βέλτιστες γραμμές τάσης (ευθείες), από την κλίση των οποίων υπολογίζεται η σταθερά μείωσης k.

Πίνακας 4: Σταθερές ρυθμού μείωσης στη β-σιτοστερόλη και το σύνολο φυτοστερολών.

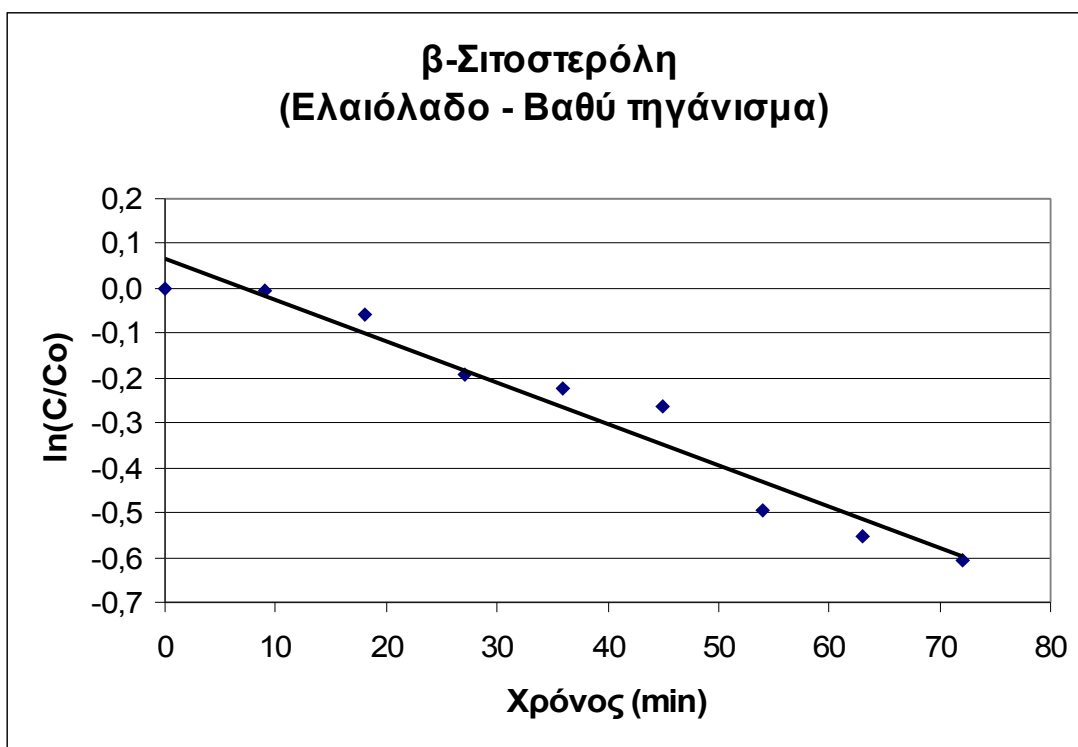
Έλαιο		β-σιτοστερόλη		Σύνολο φυτοστερολών	
		k	R	k	R
Ελαιόλαδο	B.T.*	0,01	0,975	0,0101	0,980
	P.T.	0,0266	0,994	0,0232	0,996
Ηλιέλαιο	B.T.	0,0043	0,935	0,0044	0,956
	P.T.	0,0204	0,892	0,0212	0,897
Βαμβακέλαιο	B.T.	0,0049	0,925	0,0049	0,942
	P.T.	-	-	-	-
Φοινικέλαιο	B.T.	0,0102	0,946	0,0103	0,977
	P.T.	0,0194	0,977	0,0181	0,984
Μίγμα ελαίων	B.T.	0,0101	0,850	0,0102	0,868
	P.T.	0,0232	0,990	0,0226	0,989

* όπου: B.T. Βαθύ τηγάνισμα και P.T ρηχό τηγάνισμα

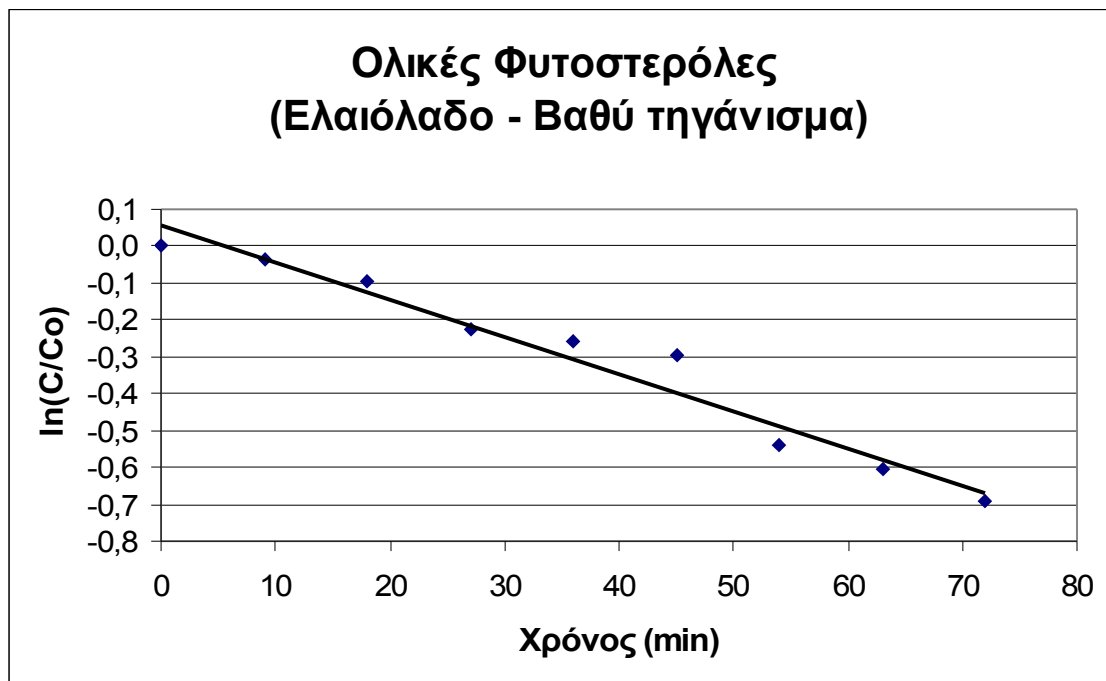
Επίσης παρατίθενται ενδεικτικά δύο διαγράμματα της κινητικής μείωσης της β-σιτοστερόλης στο ελαιόλαδο (κατά το βαθύ και ρηχό τηγάνισμα) και δύο διαγράμματα της κινητικής μείωσης των ολικών φυτοστερολών στο ελαιόλαδο (κατά το βαθύ και ρηχό τηγάνισμα). Όλα τα διαγράμματα βρίσκονται στο Παράρτημα 1.



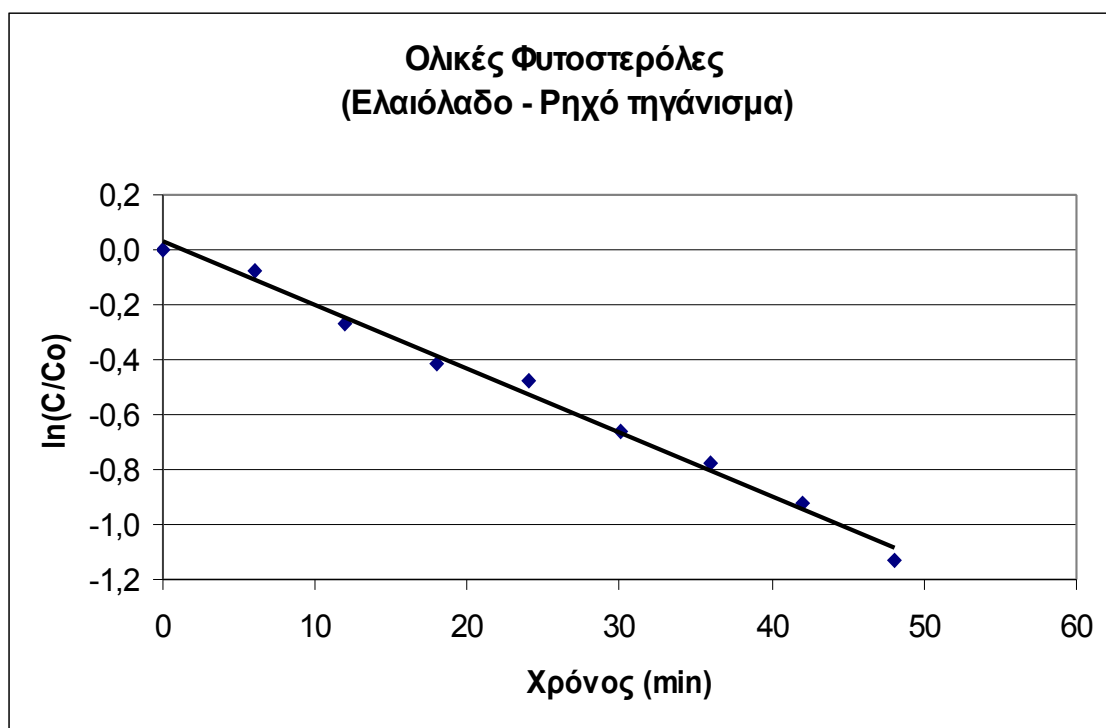
Διάγραμμα 1: Κινητική μείωσης β-σιτοστερόλης στο ελαιόλαδο κατά το ρηχό τηγάνισμα.



Διάγραμμα 2: Κινητική μείωσης β-σιτοστερόλης στο ελαιόλαδο κατά το βαθύ τηγάνισμα.



Διάγραμμα 3: Κινητική μείωσης ολικών φυτοστερολών στο ελαιόλαδο κατά το βαθύ τηγάνισμα.



Διάγραμμα 4: κινητική μείωσης ολικών φυτοστερολών στο ελαιόλαδο κατά το βαθύ τηγάνισμα.

Με βάση τον Πίνακα 4, στον οποίο υποθέσαμε ότι ακολουθείται κινητική μείωσης πρώτης τάξης, παρατηρούμε ότι προέκυψαν πολύ καλοί συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για την πλειοψηφία των περιπτώσεων τηγανίσματος (70%) με $R > 0,92$. Για δοκιμές που έγιναν με εφαρμογή κινητικών μοντέλων μηδενικής και δευτέρας τάξης, διαπιστώθηκαν χαμηλότεροι συντελεστές R κατά μέσο όρο, οπότε επιλέχθηκε ως βέλτιστη η κινητική πρώτης τάξης για την απεικόνιση του ρυθμού υποβάθμισης των ελαίων.

Επίσης οι σταθερές ρυθμού μείωσης k της β -σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών για το βαθύ τηγάνισμα κυμάνθηκαν σε σχετικά περιορισμένο εύρος τιμών ($0,0043 - 0,0103 \text{ min}^{-1}$) με ελάχιστη τιμή για το ηλιέλαιο και μέγιστη για το φοινικέλαιο. Αυτό σημαίνει ότι το ηλιέλαιο υφίσταται τη μικρότερη υποβάθμιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έλαια σε συνάρτηση με το χρόνο τηγανίσματός του, ενώ το φοινικέλαιο τη μεγαλύτερη. Αντίστοιχα στο ρηχό τηγάνισμα οι σταθερές k κυμάνθηκαν και πάλι σε μικρό εύρος τιμών, από ($0,0181 - 0,0266 \text{ min}^{-1}$) με ελάχιστη τιμή για το φοινικέλαιο και μέγιστη για το ελαιόλαδο. Από αυτό προκύπτει ότι στο ρηχό τηγάνισμα το ελαιόλαδο υφίσταται την πιο γρήγορη υποβάθμιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έλαια, ενώ το φοινικέλαιο την πιο αργή.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 4 φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ελαίων που μελετήθηκαν η σταθερά μείωσης της β -σιτοστερόλης και του συνόλου των φυτοστερολών ήταν μεγαλύτερη κατά το ρηχό τηγάνισμα σε σχέση με την αντίστοιχη περίπτωση βαθύως τηγανίσματος, γεγονός που επιβεβαιώνει τη μεγαλύτερη απώλεια (καταστροφή) των φυτοστερολών ανάλογα με τη χρονική διάρκεια κατά το ρηχό τηγάνισμα.

Τέλος, όσον αφορά τον Πίνακα 4, οι τιμές της σταθεράς ρυθμού μείωσης k και του συντελεστή συσχέτισης R για το βαμβακέλαιο δεν καταγράφηκαν, αφού τα δεδομένα που προέκυψαν από την επεξεργασία των αντίστοιχων πειραματικών στοιχείων, δεν κρίθηκαν αποδεκτά.

Τα αποτελέσματα του τηγανίσματος (Πίνακες 2 και 3) έχουν αναλυθεί και αξιολογηθεί στη διδακτορική διατριβή της Φωτεινής Σάλτα. Η ανάλυση των δεδομένων δεν διαχώριζε την απορρόφηση του ελαίου από τις τηγανιζόμενες πατάτες και συνεπώς την απορρόφηση της β -σιτοστερόλης και ολικών φυτοστερολών, από την καταστροφή εκείνων όσων υπήρχαν στο έλαιο. Έτσι μπορούμε να εξηγήσουμε τις διαφορές στα αποτελέσματα μας. Αυτό που εμείς θέλαμε να μελετήσουμε ήταν η κινητική της μείωσης της β -σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών, η οποία οφείλεται στην υποβάθμιση του ελαίου και μόνο, όχι και στο ποσό εκείνο που απορροφάται από τις πατάτες.

3.1.3 Μελέτη κινητικής απορρόφησης

Επίσης μελετήθηκε η απορρόφηση της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών στις πατάτες. Αυτό υπολογίστηκε ξεχωριστά για κάθε έλαιο, τύπο τηγανίσματος, καθώς επίσης και για κάθε τηγάνισμα. Το εύρος απορρόφησης των μικροσυστατικών στην πατάτα ανά τηγάνισμα φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5. Η απορρόφηση αυτή υπολογίστηκε ως το πηλίκο της συγκέντρωσης των φυτοστερολών στην τηγανισμένη πατάτα προς την συγκέντρωση αυτών στο έλαιο κατά την έναρξη κάθε τηγανίσματος. Ο μέσος όρος απορρόφησης μικροσυστατικών στην πατάτα ανά τηγάνισμα αφορά τη μέση τιμή απορρόφησης αυτών για 8 διαδοχικά τηγανίσματα κάθε περίπτωσης.

Πίνακας 5: Εύρος απορρόφησης στην πατάτα ανά τηγάνισμα.

Έλαιο		β-σιτοστερόλη		Σύνολο φυτοστερολών	
		Εύρος απορρόφησης στην πατάτα / τηγάνισμα	Μέσος όρος απορρόφησης στην πατάτα / τηγάνισμα	Εύρος απορρόφησης στην πατάτα / τηγάνισμα	Μέσος όρος απορρόφησης στην πατάτα / τηγάνισμα
Ελαιόλαδο	B.T.*	0,3-1,5%	0,82%	0,4-1,5%	0,86%
	P.T.*	0-4,4%	2,79%	3,5-6%	4,47%
Ηλιέλαιο	B.T.	3,9-4,6%	4,35%	4-4,7%	4,4%
	P.T.	1,6-3,9%	3,16%	1,5-3,5%	2,66%
Βαμβακέλαιο	B.T.	2,9-3,9%	3,24%	2,9-3,9%	3,26%
	P.T.	8,5-45,5%	27,04%	8,5-45,5%	8,5%
Φοινικέλαιο	B.T.	1,2-3%	1,8%	1,3-3%	1,89%
	P.T.	0,6-4,6%	3,05%	1-5,8%	3,9%
Μίγμα ελαίων	B.T.	0-0,7%	0,4%	0-0,6%	0,37%
	P.T.	2,8-10,5%	6,83%	2,4-11%	7,05%

- B.T.: Βαθύ τηγάνισμα
- P.T.: Ρηχό τηγάνισμα

Με βάση τον Πίνακα 5 παρατηρούμε ότι μεγαλύτερη μέση απορρόφηση μικροσυστατικών από την πατάτα παρουσιάστηκε κατά τα 8 διαδοχικά τηγανίσματα στο βαμβακέλαιο (27%). Αυτό συνέβη στο ρηχό τηγάνισμα τόσο για τη β-σιτοστερόλη όσο και για το σύνολο των φυτοστερολών. Αντίστοιχα η μικρότερη μέση απορρόφηση κατά το ρηχό τηγάνισμα για τη β-σιτοστερόλη βρέθηκε στην περίπτωση του ελαιολάδου (2,8%), και για το σύνολο των φυτοστερολών στην περίπτωση του ηλιέλαιου (2,7%). Η μεγαλύτερη μέση απορρόφηση κατά το βαθύ τηγάνισμα τόσο για τη β-σιτοστερόλη όσο και για το σύνολο των φυτοστερολών βρέθηκε στην περίπτωση του ηλιέλαιου (4,4%). Τέλος μικρότερη μέση απορρόφηση στο βαθύ τηγάνισμα παρουσιάστηκε στο μίγμα ελαίων (0,4%) για όλες τις φυτοστερόλες.

Ένα άλλο σχόλιο που μπορεί να γίνει όσον αφορά τα αποτελέσματα του Πίνακα 5 είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις ελαίων, πλην του ηλιέλαιου, οι μέσες απορροφήσεις μικροσυστατικών από τις πατάτες βρέθηκαν σαφώς μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια του ρηχού τηγανισμάτων σε σχέση με το αντίστοιχο βαθύ τηγάνισμα.

3.2 Μέρος Β

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν τηγανίσματα σε φριτέζα, με τρεις τύπους ελαίων (ελαιόλαδο, ηλιέλαιο, μίγμα ελαίων) και προσδιορίστηκε η υγρασία, το πάχος των τηγανητών πατατών και η σύσταση των φρέσκων ελαίων, καθώς και των τηγανισμένων πατατών σε φυτοστερόλες.

3.2.1 Υγρασία των τηγανητών πατατών

Η υγρασία των τηγανητών πατατών υπολογίστηκε από την διαφορά του βάρους του κάθε δείγματος πατάτας πριν και μετά τη λυοφιλίωση:

$$\frac{\text{Βάρος τηγανισμένης πατάτας (g)} - \text{βάρος λυοφιλιωμένης πατάτας (g)}}{\text{Βάρος τηγανισμένης πατάτας (g)}}$$

$$\text{Βάρος τηγανισμένης πατάτας (g)}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 6-8 και αναφέρονται ξεχωριστά για κάθε σειρά τηγανισμάτων.

Πίνακας 6: % περιεχόμενης υγρασίας στις τηγανητές πατάτες κατά την πρώτη σειρά τηγανισμάτων.

<i>Χρόνος (min)</i>	<i>Παρθένο ελαιόλαδο</i>	<i>Ηλιέλαιο</i>	<i>Μίγμα ελαίων</i>
0	86,54	86,54	86,54
2	84,00	84,85	86,21
4	83,31	81,10	84,25
6	81,61	85,26	84,83
8	85,63	78,40	76,23
10	76,11	66,80	84,65
12	69,76	67,61	73,24
14	77,23	64,21	73,70
16	64,61	62,34	57,24
18	52,19	57,98	57,65
20	49,36	55,13	49,90

Πίνακας 7: % περιεχόμενης υγρασίας στις τηγανητές πατάτες κατά τη δεύτερη σειρά τηγανισμάτων.

<i>Χρόνος (min)</i>	<i>Παρθένο ελαιόλαδο</i>	<i>Ηλιέλαιο</i>	<i>Μίγμα ελαίων</i>
0	86,54	86,54	86,54
2	86,33	85,49	86,45
4	85,1	85,99	81,93
6	80,88	81,42	81,92
8	82,55	77,82	76,44
10	82,32	82,3	77,39
12	73,37	68,68	69,65
14	74,57	72,28	73,55
16	62,19	64,42	67,43
18	63,81	44,52	69,24
20	50,25	59,56	63,04

Πίνακας 8: % περιεχόμενης υγρασίας στις τηγανητές πατάτες κατά την τρίτη σειρά τηγανισμάτων.

<i>Χρόνος (min)</i>	<i>Παρθένο ελαιόλαδο</i>	<i>Ηλιέλαιο</i>	<i>Μίγμα ελαίων</i>
0	86,54	86,54	86,54
2	83,58	85,20	83,73
4	82,33	81,98	83,84
6	78,08	79,22	80,98
8	78,03	73,23	76,98
10	71,31	74,18	71,51
12	76,46	73,65	68,37
14	64,22	68,12	69,52
16	60,62	67,76	68,33
18	54,70	61,86	61,70
20	52,57	40,50	52,72

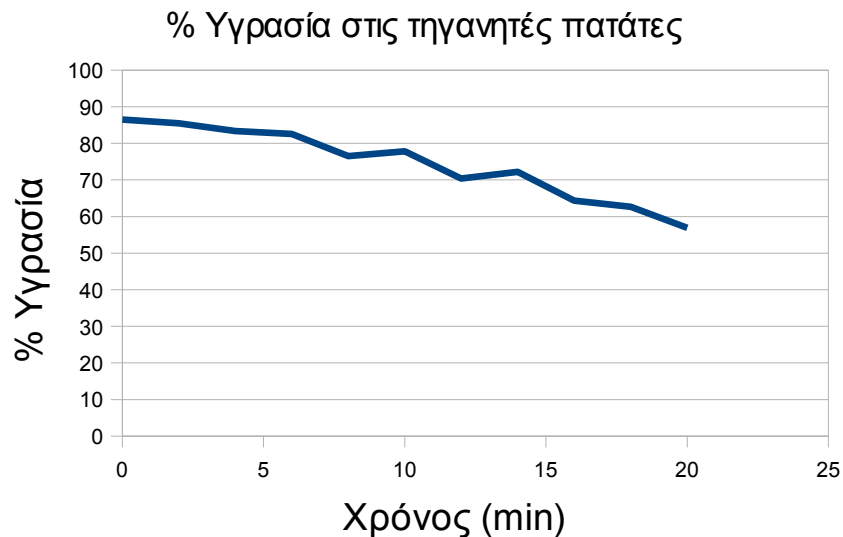
Παρατίθενται παρακάτω 3 Διαγράμματα του μέσου όρου της % υγρασίας στις πατάτες ως προς το χρόνο τηγανίσματος, ένα για κάθε τύπο ελαίου.



Διάγραμμα 5: Μέσος όρος % υγρασίας σε πατάτες που τηγανίστηκαν σε ελαιόλαδο.



Διάγραμμα 6: Μέσος όρος % υγρασίας σε πατάτες που τηγανίστηκαν σε ηλιέλαιο.

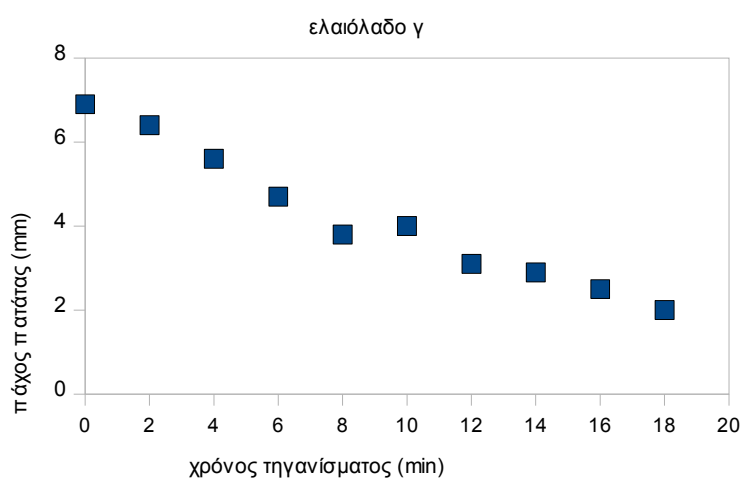


Διάγραμμα 7: Μέσος όρος % υγρασίας σε πατάτες τηγανιζόμενες σε μίγμα ελαίων.

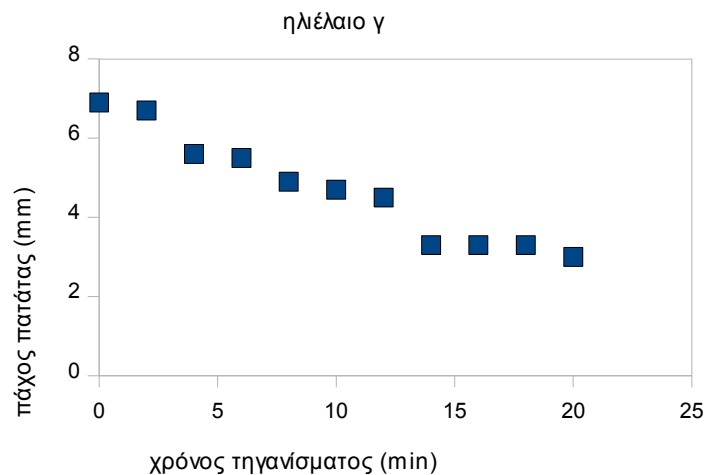
Από τους Πίνακες 6, 7, 8 και τα Διαγράμματα 5, 6 και 7 παρατηρούμε ότι η % υγρασία των πατατών κατά μέσον όρο παρουσιάζει μια σαφώς πτωτική τάση, με αρχικές τιμές (στο δεύτερο λεπτό του τηγανίσματος) να είναι σχεδόν όμοιες (84,8%, 85,2% και 85,5% για το ελαιόλαδο, ηλιέλαιο και μίγμα ελαίων, αντίστοιχα). Η μείωση της % υγρασίας συνεχίζεται έως το τέλος του τηγανίσματος (20 min) και συγκρίνοντας τις τελικές % υγρασίες στις τηγανητές πατάτες και των τριών ελαίων, παρατηρούμε επίσης παρεμφερή αποτελέσματα. Συγκεκριμένα τα τελικά ποσοστά % υγρασίας των τηγανητών πατατών είναι 44%, 51,7% και 56,9% για το ελαιόλαδο, το ηλιέλαιο και το μίγμα ελαίων, αντίστοιχα.

3.2.2 Μελέτη της σχέσης του πάχους με τον χρόνο τηγανίσματος

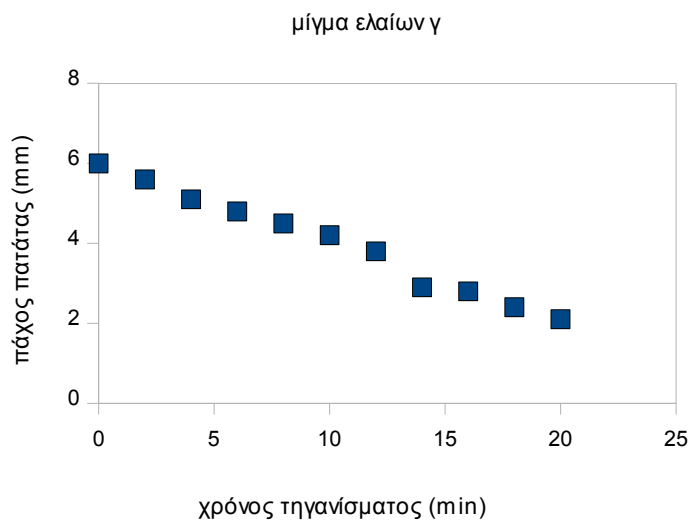
Κατά τη διάρκεια των τηγανισμάτων, αμέσως μετά τη δειγματοληψία, μετρήθηκε το πάχος φετών τηγανισμένης πατάτας με παχύμετρο. Στα παρακάτω Διαγράμματα φαίνεται η σχέση του πάχους της πατάτας με το χρόνο. Παρατίθενται 3 Διαγράμματα (ένα για κάθε τύπο ελαίου) ενώ όλα τα διαγράμματα βρίσκονται στο Παράρτημα 2.



Διάγραμμα 8: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ελαιόλαδο με το χρόνο τηγανίσματος.



Διάγραμμα 9: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ηλιέλαιο με το χρόνο τηγανίσματος.



Διάγραμμα 10: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ηλιέλαιο με το χρόνο τηγανίσματος.

Παρατηρούμε από τα Διαγράμματα 8, 9 και 10 ότι και στους τρεις τύπους ελαίου το πάχος της τηγανιζόμενης πατάτας μειώνεται σταδιακά, ως αποτέλεσμα της απώλειας υγρασίας και της συρρίκνωσης της μικροδομής της πατάτας. Συγκεκριμένα στο ελαιόλαδο κατά το τρίτο τηγάνισμα, το πάχος της φρέσκιας πατάτας ήταν 6,9 mm ενώ με την ολοκλήρωση του τηγανίσματος (μετά από 20 min) μειώθηκε στα 1,9 mm. Παρομοίως στο ηλιέλαιο κατά το τρίτο τηγάνισμα, το πάχος της φρέσκιας πατάτας ήταν 6,9 mm ενώ με την ολοκλήρωση του τηγανίσματος μειώθηκε στα 3 mm. Τέλος, στο μίγμα ελαίων κατά το τρίτο τηγάνισμα, το πάχος της φρέσκιας πατάτας ήταν 6 mm ενώ στο τέλος του τηγανίσματος μειώθηκε στα 2,1 mm.

3.2.3 Απορροφηθέν έλαιο από τις τηγανητές πατάτες

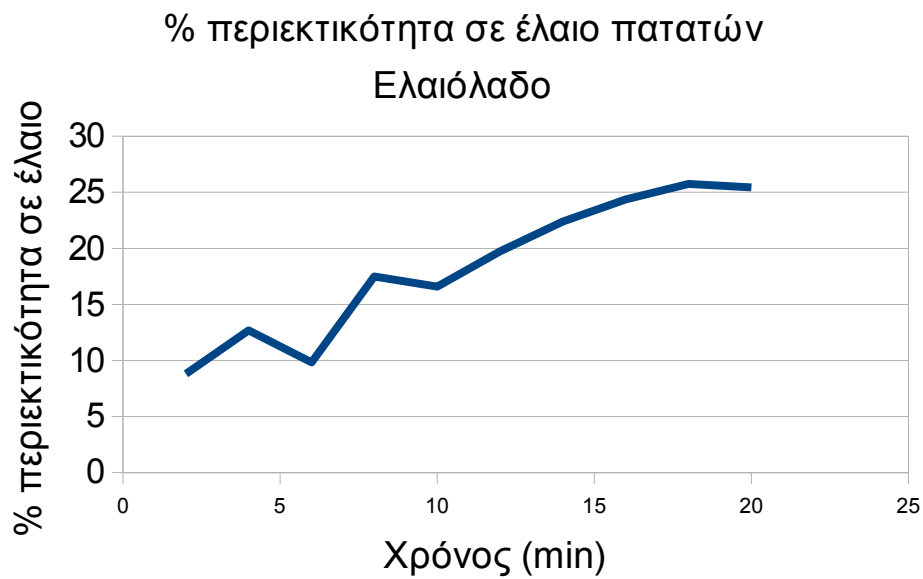
Το απορροφηθέν έλαιο υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο:

$$\% \text{ απορροφηθέν έλαιο} = \frac{\text{Βάρος (g) απορροφηθέντος ελαίου}}{\text{Βάρος (g) τηγανισμένης πατάτας}} \times 100$$

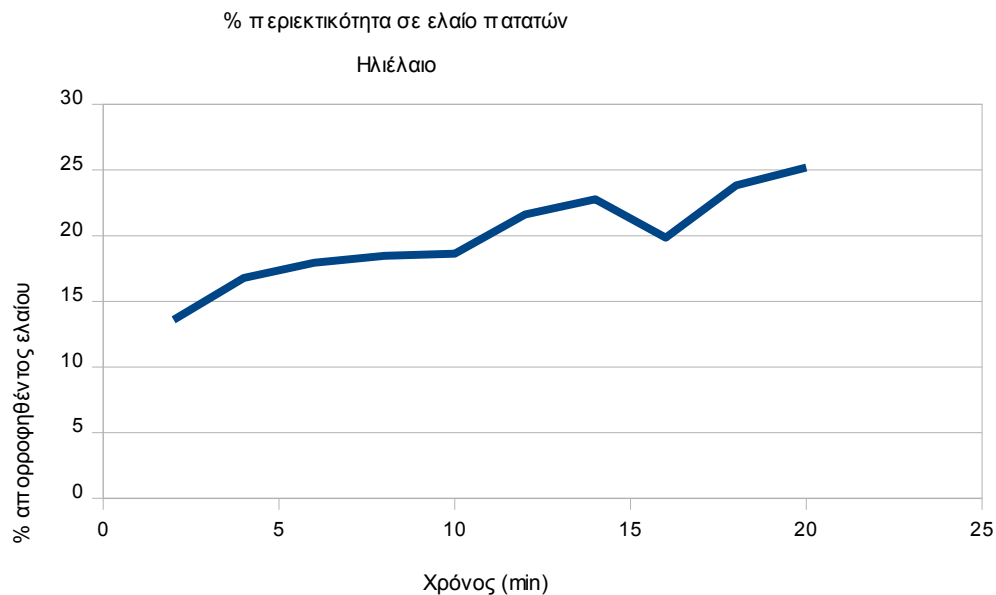
Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 8, στον οποίο παρουσιάζεται ο μέσος όρος της επί τοις εκατό (% σύστασης ελαίου από τις τηγανητές πατάτες σε συνάρτηση με το χρόνο τηγανίσματος. Τα αποτελέσματα του Πίνακα αυτού παριστάνονται και στα τρία διαγράμματα 12, 13, 14 που ακολουθούν.

Πίνακας 8: % μέση απορρόφηση ελαίου από τις τηγανητές πατάτες από τις τρεις σειρές τηγανισμάτων

Χρόνος (min)	Παρθένο ελαιόλαδο	Ηλιέλαιο	Μίγμα ελαίων
2	8,82	13,58	15,28
4	12,68	16,78	16,85
6	9,83	17,94	18,59
8	17,49	19,15	21,74
10	16,59	16,97	21,92
12	19,72	21,62	19,03
14	22,38	22,77	23,59
16	24,37	19,86	22,68
18	25,75	18,79	28,5
20	25,44	25,19	21,61



Διάγραμμα 11: Μέσος όρος % περιεκτικότητας σε έλαιο των πατατών που τηγανίστηκαν σε ελαιόλαδο



Διάγραμμα 12: Μέσος όρος % περιεκτικότητας σε έλαιο των πατατών που τηγανίστηκαν σε ηλιέλαιο



Διάγραμμα 13: Μέσος όρος % περιεκτικότητας σε έλαιο των πατατών που τηγανίστηκαν σε μίγμα ελαίων

Από τον Πίνακα 8 καθώς και τα Διαγράμματα 11, 12 και 13 παρατηρούμε ότι υπάρχει μια τάση αύξησης της μέσης % απορρόφησης ελαίου από τις πατάτες σε σχέση με το χρόνο τηγανίσματος. Συγκεκριμένα, στο ελαιόλαδο κατά τα 2 πρώτα min η % περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 8,8%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος (στα 20 min) η επί τοις εκατό περιεκτικότητα είναι ίση με 26,6%. Στο ηλιέλαιο κατά τα 2 πρώτα min η επί τοις εκατό περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 13,5%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος η % περιεκτικότητα είναι ίση με 25,2%. Τέλος στο μίγμα ελαίων κατά τα 2 πρώτα λεπτά η επί τοις εκατό περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 15,2%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος είναι ίση με 24,4%. Με βάση αυτά τα στοιχεία φαίνεται πως στις πατάτες που τηγανίστηκαν σε ελαιόλαδο υπήρξε μικρότερη απορρόφηση ελαίου κατά τα πρώτα λεπτά συγκριτικά με το ηλιέλαιο και το μίγμα ελαίων. Τελικά όμως η μέση περιεκτικότητα των τηγανητών πατατών στο τέλος του τηγανίσματος εμφάνισε παραπλήσιες τιμές και για τους τρεις τύπους ελαίων (24,4 - 26,6%).

3.2.4 Σύσταση των ελαίων σε στερόλες

Οι φυτοστερόλες που ανιχνεύθηκαν στα φρέσκα έλαια ήταν η β-σιτοστερόλη ενώ η Δ⁵-αβεναστερόλη ανιχνεύθηκε στο ελαιόλαδο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Συγκέντρωση φρέσκων ελαίων σε β-σιτοστερόλη.

Ελαιόλαδο (mg/g ελαίου)	Ηλιέλαιο (mg/g ελαίου)	Μίγμα ελαίων (mg/g ελαίου)
0,261	0,330	0,181

3.2.5 Φυτοστερόλες στις πατάτες

Οι φυτοστερόλες που ανιχνεύθηκαν στις πατάτες ήταν η β-σιτοστερόλη, ενώ η Δ⁵-αβεναστερόλη ανιχνεύθηκε στις πατάτες που τηγανίστηκαν σε ελαιόλαδο.

Πίνακας 12: Συγκέντρωση πατατών σε β-σιτοστερόλη κατά το πρώτο τηγάνισμα.

Χρόνος (min)	Ηλιέλαιο (mg/g πατάτας)	Μίγμα ελαίων (mg/g πατάτας)
2	41,1	36,81
4	46,03	41,87
6	35,71	38,03
8	40,48	179,55
10	-	168,05
12	283,05	139,4
14	190,99	78,49
16	38,2	40,04
18	42,12	42,44
20	43,67	40,16

Πίνακας 13: Συγκέντρωση πατατών σε β-σιτοστερόλη κατά το δεύτερο τηγάνισμα.

Χρόνος (min)	Ελαιόλαδο (mg/g πατάτας)	Ηλιέλαιο (mg/g πατάτας)	Μίγμα ελαίων (mg/g πατάτας)
2	43,83	143,4	40,2
4	57,76	128,19	110
6	34,05	46,73	66,38
8	37,61	40,51	260,3
10	117,34	122,32	97,12
12	57,61	186,26	36,89
14	58,57	118,26	135,13
16	35,13	259,09	86,58
18	59,51	35,66	40,5
20	47,85	254,13	86,16

Πίνακας 14: Συγκέντρωση πατατών σε β-σιτοστερόλη κατά το τρίτο τηγάνισμα.

Χρόνος (min)	Ελαιόλαδο (mg/g πατάτας)	Ηλιέλαιο (mg/g πατάτας)	Μίγμα ελαίων (mg/g πατάτας)
2	65,69	116,62	127,57
4	79,75	138,86	124,61
6	55,01	155,91	127,85
8	85,31	233,73	251,38
10	81,41	199,59	215,17
12	108,77	156,58	215,83
14	102,33	279,47	193,62
16	135,7	208,1	216,69
18	63,26	153,13	351,42
20	72,51	297,97	247,13

Από τους Πίνακες 12, 13 και 14 παρατηρούμε ότι οι τηγανητές πατάτες εμπλουτίστηκαν σε β-σιτοστερόλη κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος. Και στις τρεις σειρές τηγανισμάτων παρατηρείται μια τάση αύξησης της περιεκτικότητας των πατατών σε β-σιτοστερόλη.

Πίνακας 15: Συγκέντρωση πατατών σε Δ^5 -αβεναστερόλη κατά τα δύο τηγανίσματα σε ελαιόλαδο.

Χρόνος (min)	Πρώτο τηγάνισμα (mg/g πατάτας)	Δεύτερο τηγάνισμα (mg/g πατάτας)
2	40,81	43,30
4	45,35	46,58
6	34,05	42,23
8	35,35	50,58
10	67,16	49,85
12	44,69	60,98
14	43,64	58,0
16	34,78	78,02
18	44,35	45,26
20	39,12	48,32

Από τον Πίνακα 15 παρατηρούμε ότι οι τηγανητές πατάτες κατά το δεύτερο τηγάνισμα εμπλουτίστηκαν σε Δ^5 -αβεναστερόλη, ενώ κατά το πρώτο τηγάνισμα δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά κατά τα 2 και 20 min.

3.2.6 Διατροφική αξιολόγηση της τηγανητής πατάτας

Οι τηγανητές πατάτες είναι πολύ αγαπητές από τον περισσότερο κόσμο και καταναλώνονται σε μεγάλο βαθμό. Η πατάτα, ανάλογα με τον τρόπο που θα μαγειρευτεί, μπορεί να χάσει πολλά από τα θρεπτικά της συστατικά. Το τηγάνισμα που είναι μία από τις συνηθέστερες μεθόδους παρασκευής της πατάτας, έχει αρνητικές συνέπειες στα ευαίσθητα μικροσυστατικά της, όπως είναι η βιταμίνη C. Όμως μέσω του τηγανίσματος η πατάτα εμπλουτίζεται με αρκετή ποσότητα ελαίου και, ως συνέπεια, αποκτά και μέρος των θρεπτικών του συστατικών μέσω διάχυσης και απορρόφησης από το έλαιο τηγανίσματος κ=που είναι πλούσιο στα συστατικά αυτά. Έτσι λοιπόν, καθώς οι πατάτες τηγανίζονται αποκτούν από τη μία περισσότερο λίπος και θερμίδες κι από την άλλη πολύτιμα μικροθρεπτικά συστατικά, όπως οι φυτοστερόλες. Στον Πίνακα 15 αναγράφονται οι περιεκτικότητες μίας τυπικής μερίδας τηγανητών πατατών σε ολικές φυτοστερόλες και η % κάλυψη των ημερήσιων αναγκών σε αυτές. Τα δεδομένα για την απαιτούμενη ημερήσια πρόσληψη των συστατικών αυτών ελήφθησαν από το πρόγραμμα Diet Analysis Plus.

Πίνακας 15: % κάλυψη των ημερήσιων αναγκών σε φυτοστερόλες μέσω μιας τυπικής μερίδας τηγανητών πατατών (150 g).

Έλαιο	Ελαιόλαδο	Ηλιέλαιο	Μίγμα ελαίων
Ποσότητα φυτοστερολών (mg/150g)	35,7	29,4	47,8
% Ημερήσιας Πρόσληψης	14,3	11,7	19,1

(η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη φυτοστερολών εκτιμάται στα 250 mg, eufic.org)

Από τον Πίνακα 15 συμπεραίνουμε πως καταναλώνοντας μια μερίδα τηγανητών πατατών μπορεί να καλυφθεί έως το 19,1% των ημερίσιων αναγκών σε φυτοστερόλες. Η μεγαλύτερη πρόσληψη φαίνεται πως επιτυγχάνεται με την κατανάλωση μιας μερίδας τηγανητών πατατών όταν το έλαιο τηγανίσματος είναι το μίγμα ελαίων.

4. Συμπεράσματα

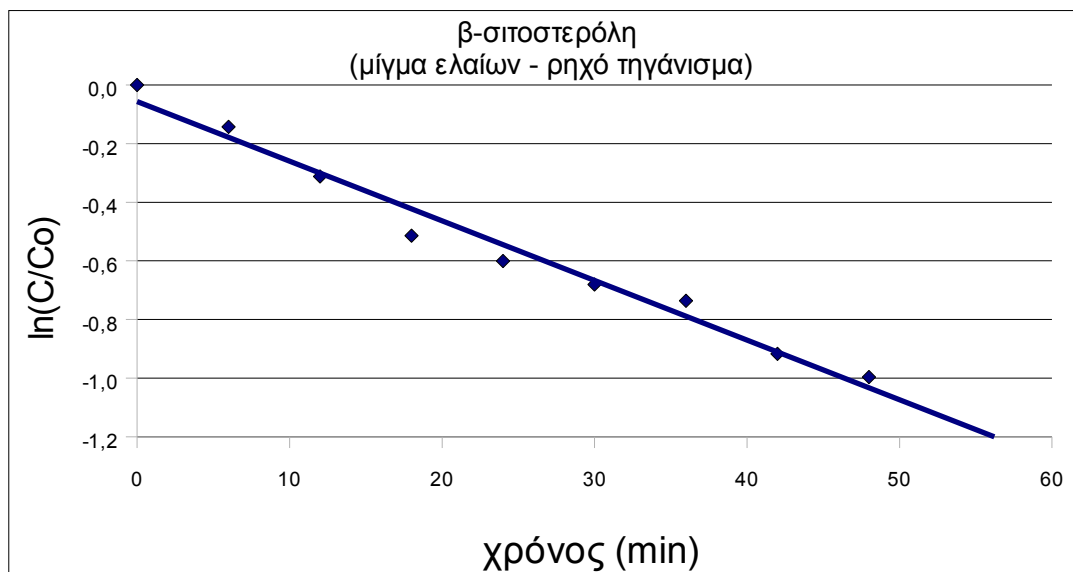
- Εκτιμήθηκαν οι συνολικές σταθερές ρυθμού μείωσης της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών για κάθε οκτάδα διαδοχικών τηγανισμάτων (ρηχό – βαθύ) και κάθε είδος ελαίου ξεχωριστά. υποθέσαμε ότι ακολουθείται κινητική μείωσης πρώτης τάξης.
- Προέκυψαν πολύ καλοί συντελεστές γραμμικής συσχέτισης για την πλειοψηφία των περιπτώσεων τηγανίσματος (70%) με $R > 0,92$. Για δοκιμές που έγιναν με εφαρμογή κινητικών μοντέλων μηδενικής και δευτέρας τάξης, διαπιστώθηκαν χαμηλότεροι συντελεστές R κατά μέσο όρο, οπότε επιλέχθηκε ως βέλτιστη η κινητική πρώτης τάξης για την απεικόνιση του ρυθμού υποβάθμισης των ελαίων.
- Οι σταθερές ρυθμού μείωσης k της β-σιτοστερόλης και των ολικών φυτοστερολών για το βαθύ τηγάνισμα κυμάνθηκαν σε σχετικά περιορισμένο εύρος τιμών ($0,0043 - 0,0103 \text{ min}^{-1}$) με ελάχιστη τιμή για το ηλιέλαιο και μέγιστη για το φοινικέλαιο. Αυτό σημαίνει ότι το ηλιέλαιο υφίσταται τη μικρότερη υποβάθμιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έλαια σε συνάρτηση με το χρόνο τηγανίσματός του, ενώ το φοινικέλαιο τη μεγαλύτερη.
- Αντίστοιχα στο ρηχό τηγάνισμα οι σταθερές k κυμάνθηκαν και πάλι σε μικρό εύρος τιμών, από ($0,0181 - 0,0266 \text{ min}^{-1}$) με ελάχιστη τιμή για το φοινικέλαιο και μέγιστη για το ελαιόλαδο. Από αυτό προκύπτει ότι στο ρηχό τηγάνισμα το ελαιόλαδο υφίσταται την πιο γρήγορη υποβάθμιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έλαια, ενώ το φοινικέλαιο την πιο αργή. Φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις ελαίων που μελετήθηκαν η σταθερά μείωσης της β-σιτοστερόλης και του συνόλου των φυτοστερολών ήταν μεγαλύτερη κατά το ρηχό τηγάνισμα σε σχέση με την αντίστοιχη περίπτωση βαθέως τηγανίσματος, γεγονός που επιβεβαιώνει τη μεγαλύτερη απώλεια (καταστροφή) των φυτοστερολών ανάλογα με τη χρονική διάρκεια κατά το ρηχό τηγάνισμα.
- Μεγαλύτερη μέση απορρόφηση μικροσυστατικών από την πατάτα παρουσιάστηκε κατά τα 8 διαδοχικά τηγανίσματα στο βαμβακέλαιο (27%). Αυτό συνέβη στο ρηχό τηγάνισμα τόσο για τη β-σιτοστερόλη όσο και για το σύνολο των φυτοστερολών. Αντίστοιχα η μικρότερη μέση απορρόφηση κατά το ρηχό τηγάνισμα για τη β-σιτοστερόλη βρέθηκε στην περίπτωση του ελαιολάδου (2,8%), και για το σύνολο των φυτοστερολών στην περίπτωση του ηλιελαίου (2,7%). Η μεγαλύτερη μέση

απορρόφηση κατά το βαθύ τηγάνισμα τόσο για τη β-σιτοστερόλη όσο και για το σύνολο των φυτοστερολών βρέθηκε στην περίπτωση του ηλιέλαιου (4,4%). Τέλος μικρότερη μέση απορρόφηση στο βαθύ τηγάνισμα παρουσιάστηκε στο μίγμα ελαίων (0,4%) για όλες τις φυτοστερόλες.

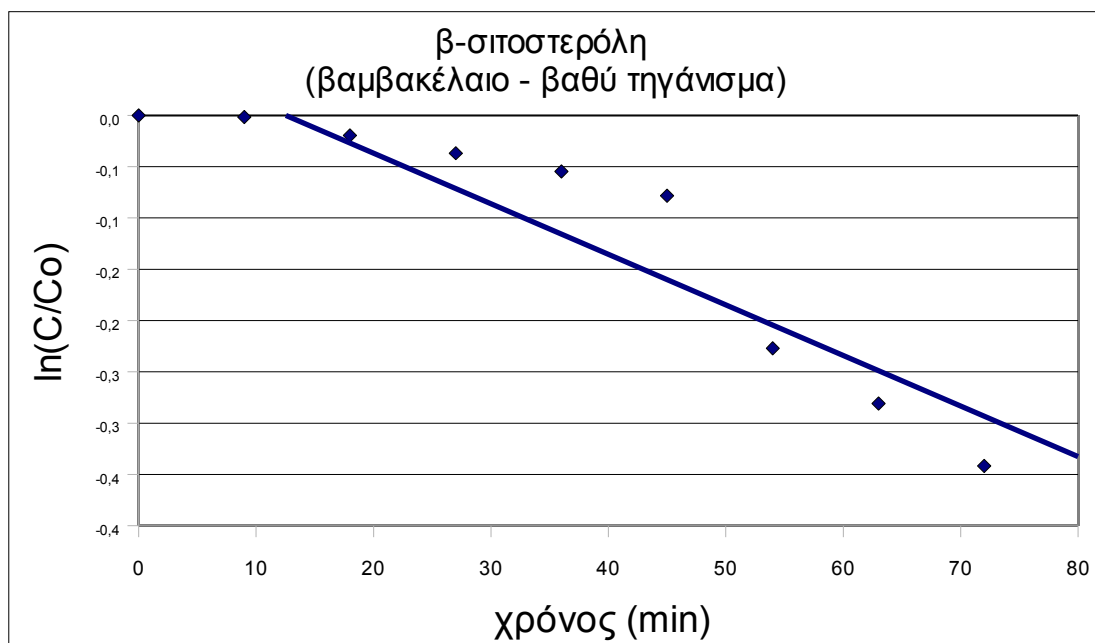
- Το πάχος μειώνεται σταδιακά, ως αποτέλεσμα της απώλειας υγρασίας και της συρρίκνωσης της μικροδομής της πατάτας.
- Φαίνεται πως υπάρχει μια τάση αύξησης της μέσης % απορρόφησης ελαίου από τις πατάτες σε σχέση με το χρόνο τηγανίσματος. Στο ελαιόλαδο κατά τα 2 πρώτα λεπτά η επί τοις εκατό περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 8,8%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος η επί τοις εκατό περιεκτικότητα είναι ίση με 26,6%. Στο ηλιέλαιο κατά τα 2 πρώτα λεπτά η επί τοις εκατό περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 13,5%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος η επί τοις εκατό περιεκτικότητα είναι ίση με 25,2%. Τέλος στο μίγμα ελαίων κατά τα 2 πρώτα λεπτά η επί τοις εκατό περιεκτικότητα των τηγανιζόμενων πατατών ισούται με 15,2%, ενώ κατά το τέλος του τηγανίσματος είναι ίση με 24,4%. Με βάση αυτά τα στοιχεία φαίνεται πως στις πατάτες που τηγανίστηκαν σε ελαιόλαδο υπήρξε μικρότερη απορρόφηση ελαίου κατά τα πρώτα λεπτά συγκριτικά με το ηλιέλαιο και το μίγμα ελαίων. Τελικά, όμως, η μέση περιεκτικότητα των τηγανητών πατατών στο τέλος του τηγανίσματος εμφάνισε παραπλήσιες τιμές και για τους τρεις τύπους ελαίων (24,4 – 26,6%).
- Η περιεκτικότητα των πατατών σε φυτοστερόλες αυξάνει μετά το τηγάνισμα, ως αποτέλεσμα της απορρόφησης ελαίου, και συνεπώς και των πολύτιμων μικροσυστατικών αυτού.
- Μία τυπική μερίδα τηγανητών πατατών (150 g) καλύπτει το 11,7% έως 19,1% των ημερησίων αναγκών σε φυτοστερόλες, ανάλογα ποιο είναι το έλαιο τηγανίσματος.

Παράρτημα 1

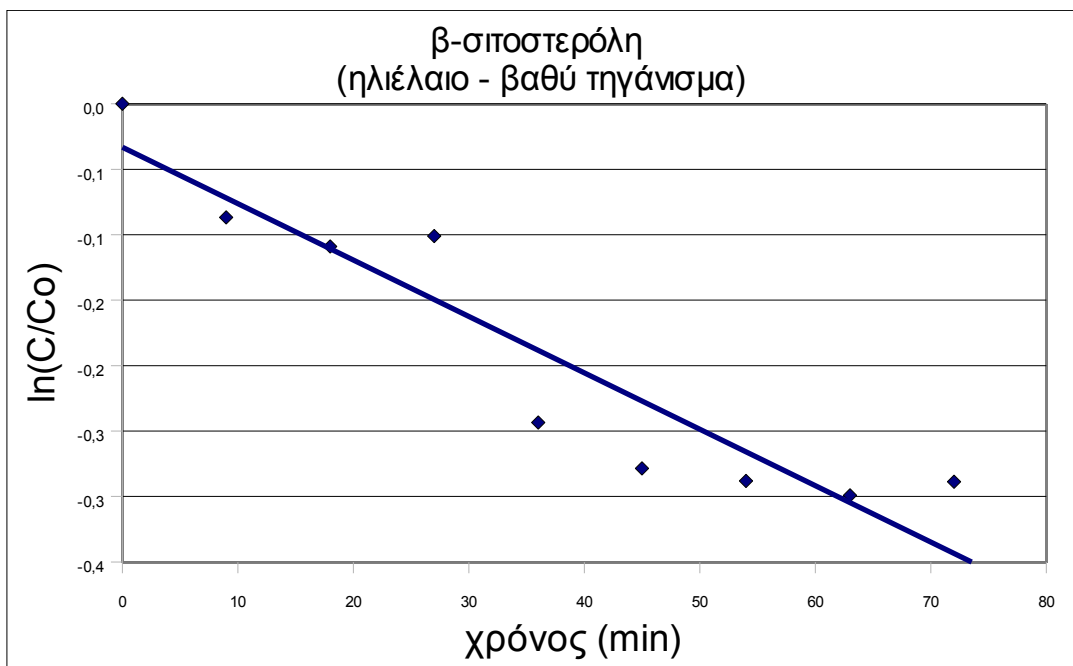
Διαγράμματα κινητικής μείωσης β-σιτοστερόλης και ολικών φυτοστερολών στα πέντε έλαια κατά το ρηχό και βαθύ τηγάνισμα



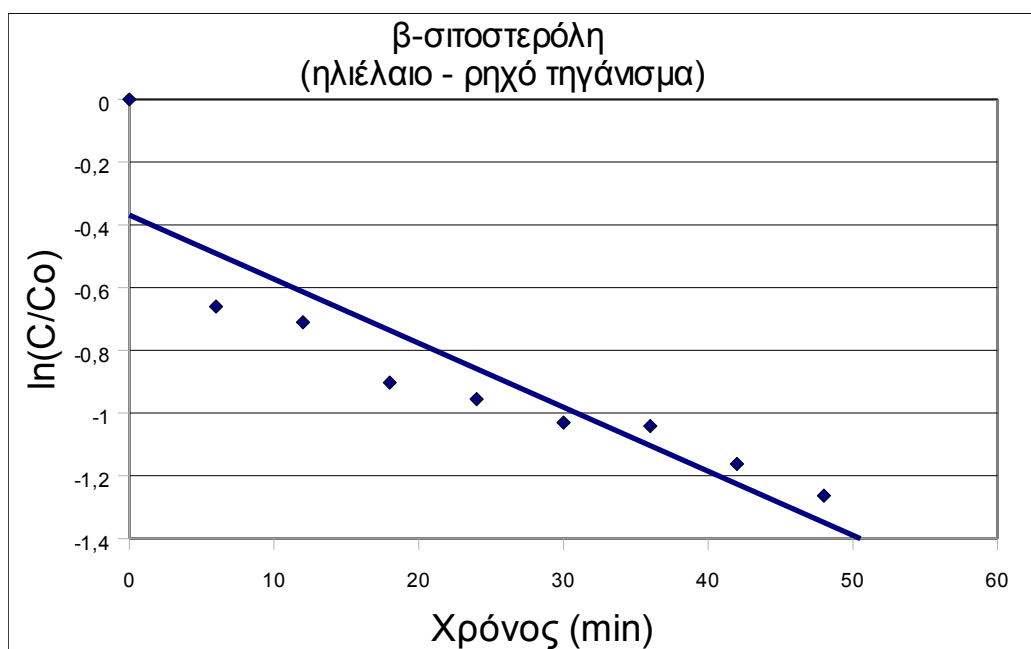
Διάγραμμα 1: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το ρηχό τηγάνισμα σε μίγμα ελαίων



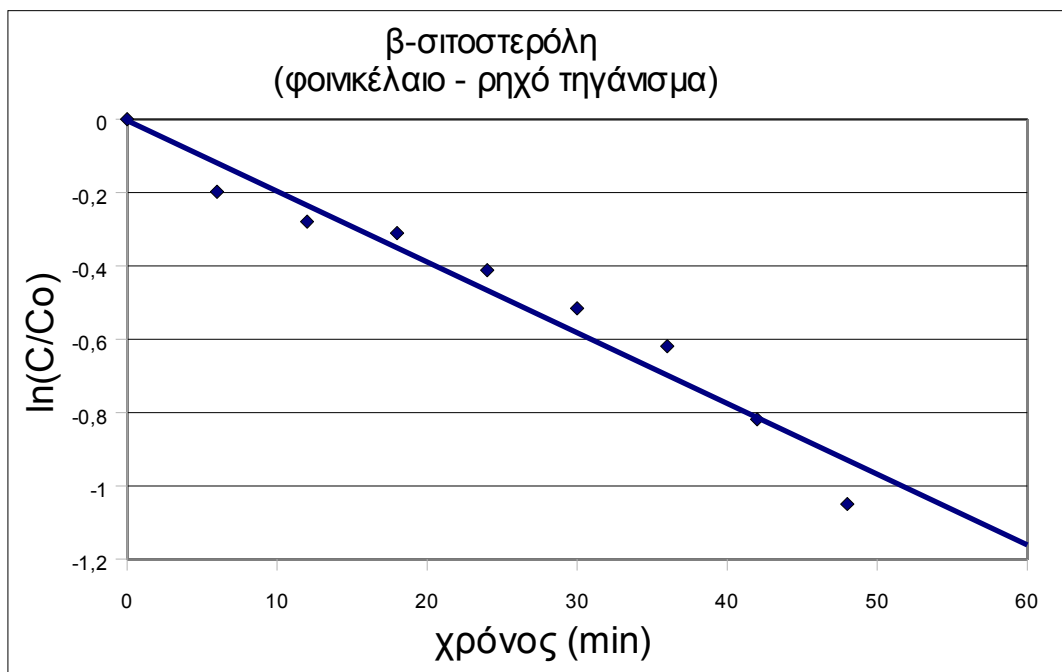
Διάγραμμα 2: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το βαθύ τηγάνισμα σε βαμβακέλαιο



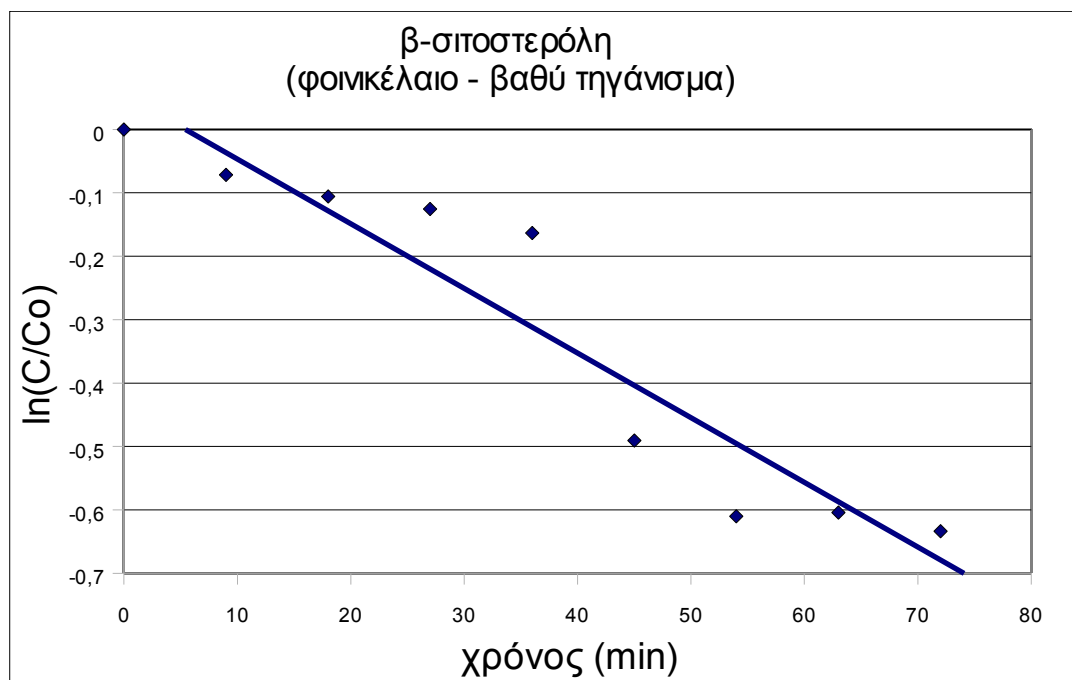
Διάγραμμα 3: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το βαθύ τηγάνισμα σε ηλιέλαιο



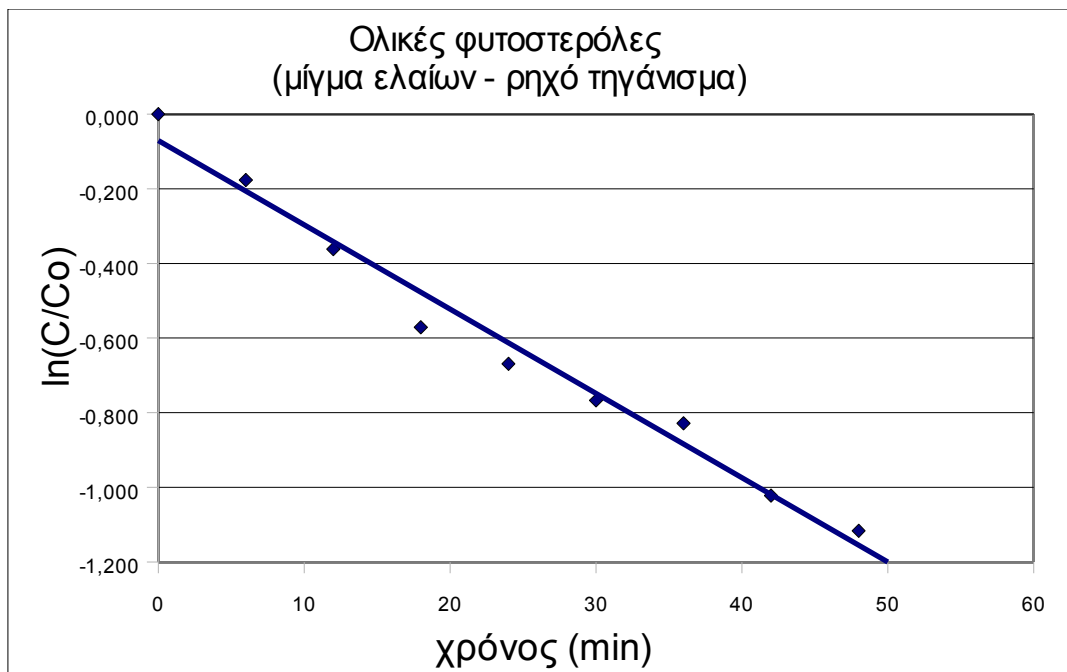
Διάγραμμα 4: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το ρηχό τηγάνισμα σε ηλιέλαιο



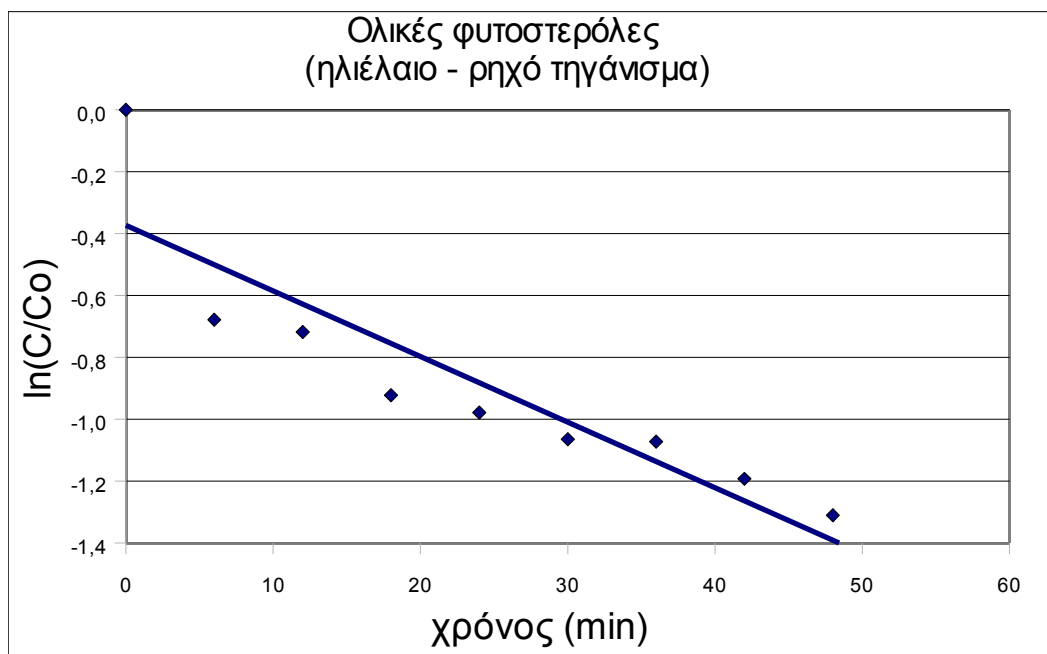
Διάγραμμα 5: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το ρηχό τηγάνισμα σε φοινικέλαιο



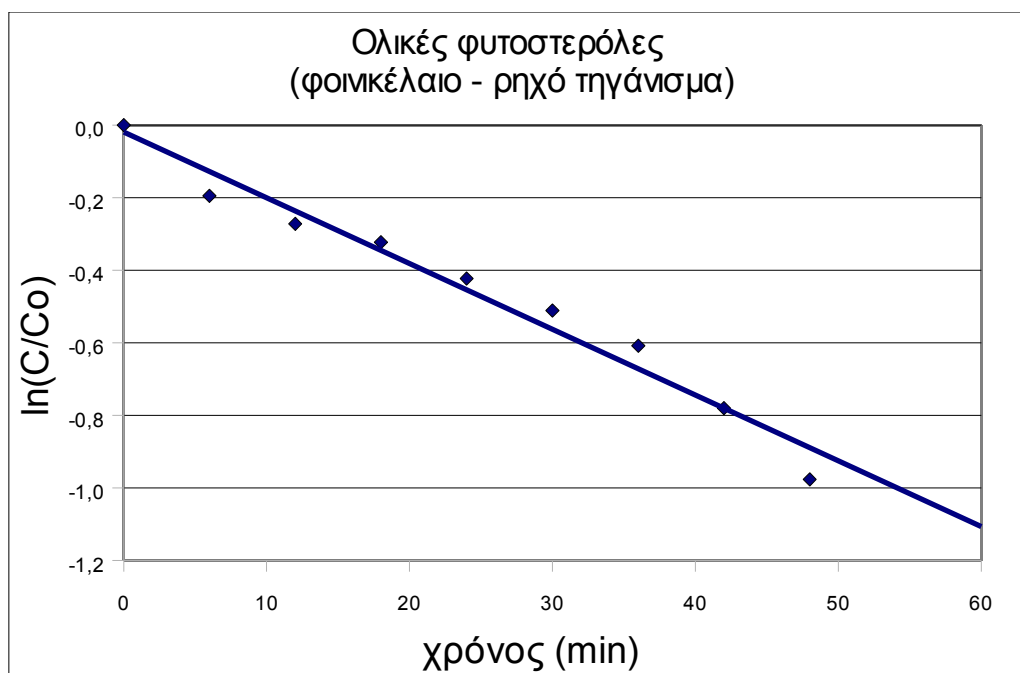
Διάγραμμα 6: Κινητική μείωσης της β-σιτοστερόλης κατά το βαθύ τηγάνισμα σε φοινικέλαιο



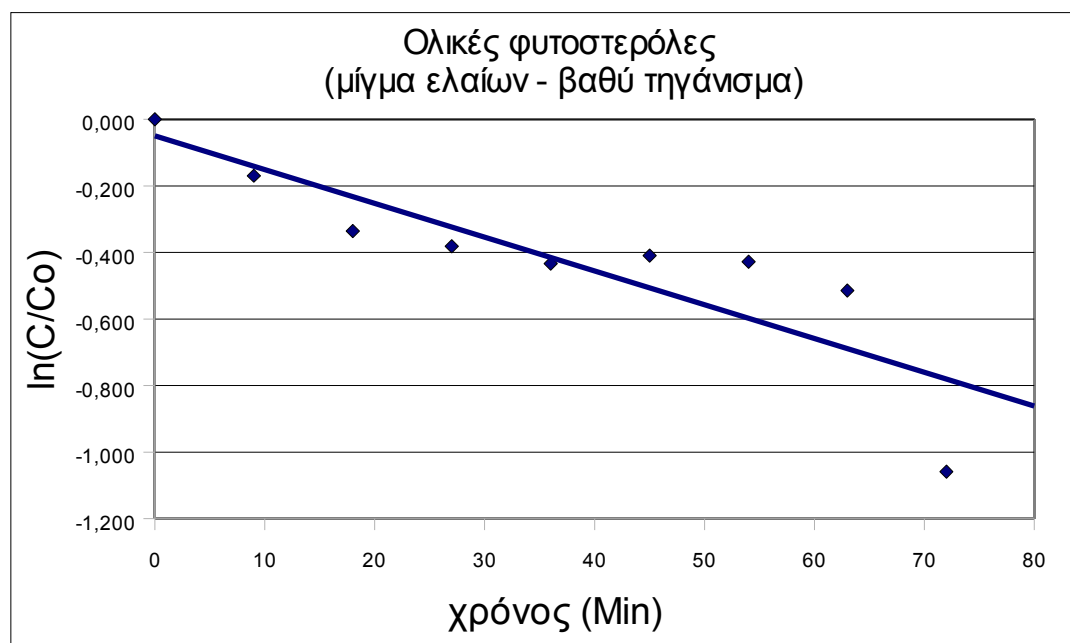
Διάγραμμα 7: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το ρηχό τηγάνισμα σε μίγμα ελαίων



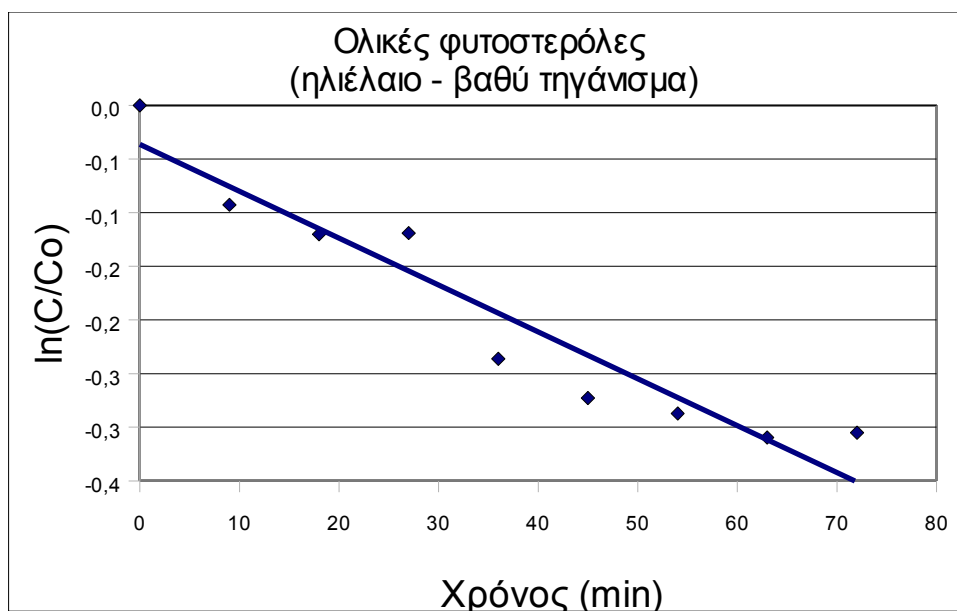
Διάγραμμα 8: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το ρηχό τηγάνισμα σε ηλιέλαιο



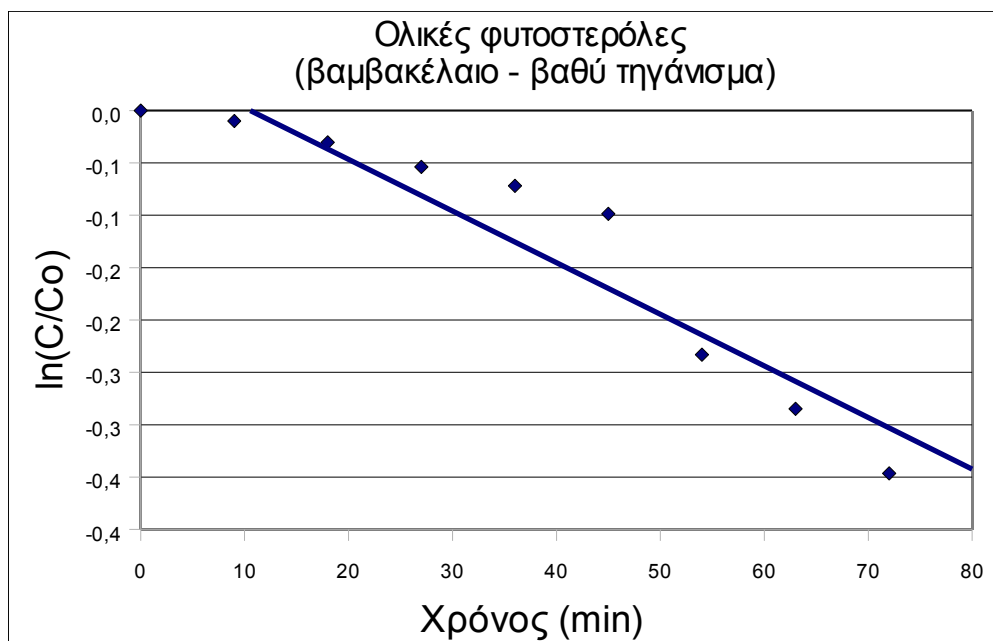
Διάγραμμα 9: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το ρηχό τηγάνισμα σε φοινικέλαιο



Διάγραμμα 10: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το βαθύ τηγάνισμα σε μίγμα ελαίων



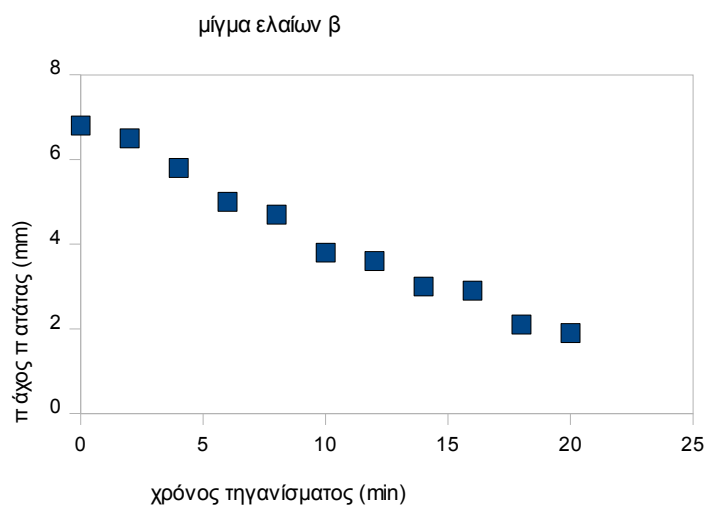
Διάγραμμα 11: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το βαθύ τηγάνισμα σε ηλιέλαιο



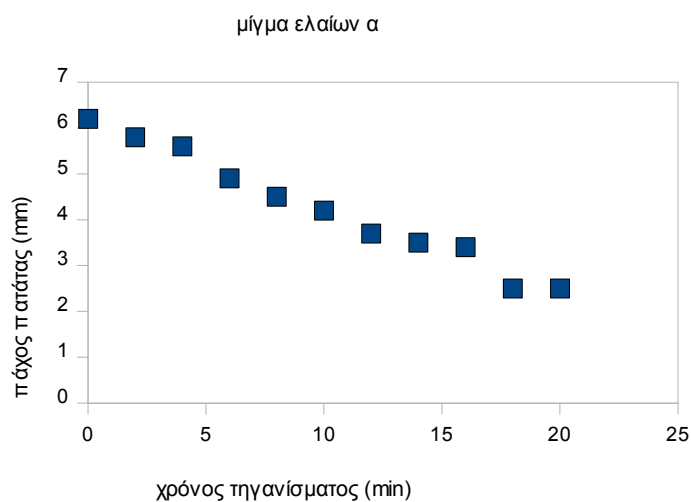
Διάγραμμα 12: Κινητική μείωσης των ολικών φυτοστερολών κατά το βαθύ τηγάνισμα σε βαμβακέλαιο

Παράρτημα 2

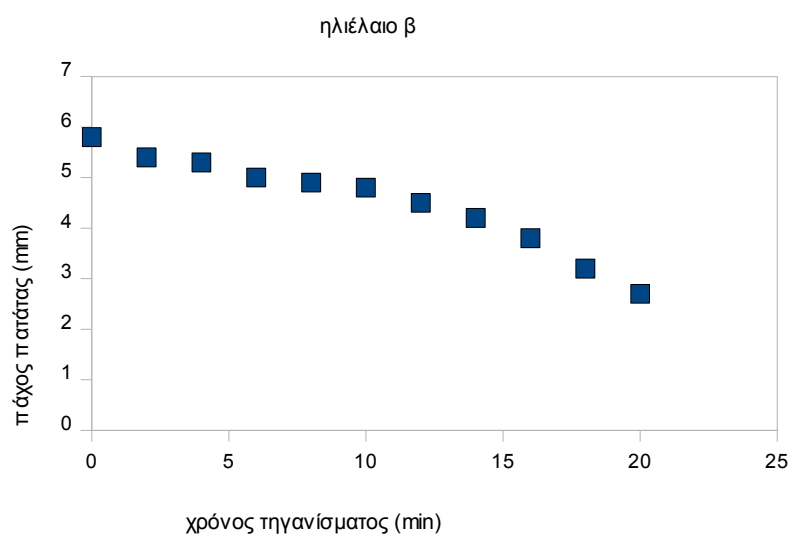
Διαγράμματα πάχους τηγανισμένης πατάτας σε συνάρτηση με το χρόνο



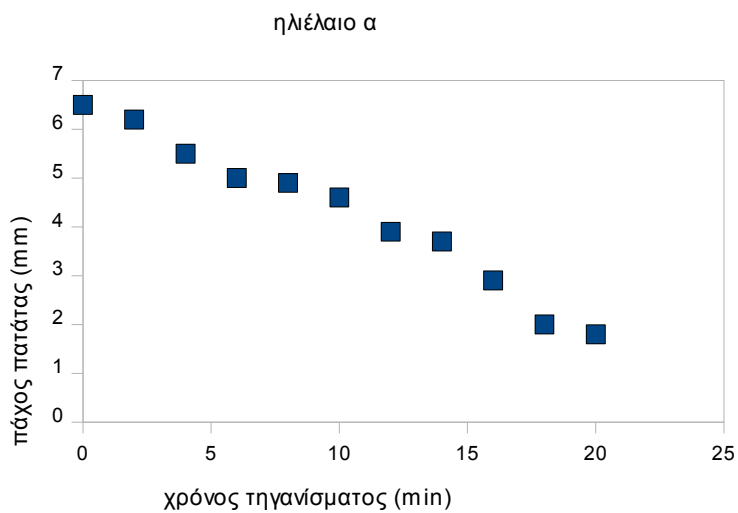
Διάγραμμα 13: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε μίγμα ελαίων με το χρόνο, κατά τη δεύτερη σειρά τηγανισμάτων



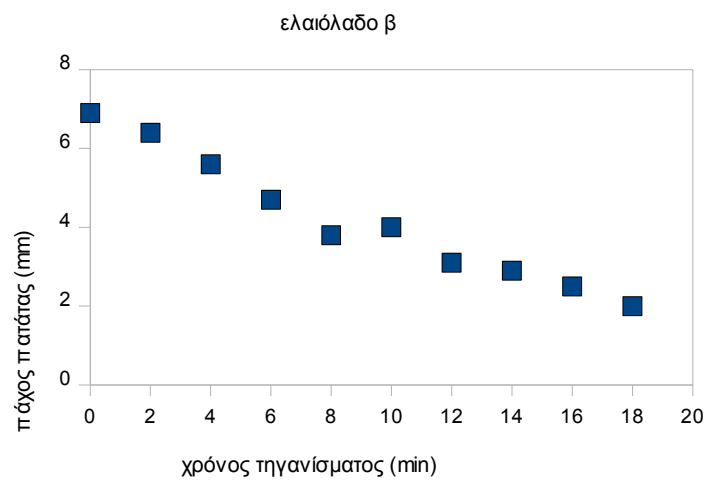
Διάγραμμα 14: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε μίγμα ελαίων με το χρόνο, κατά τη πρώτη σειρά τηγανισμάτων



Διάγραμμα 15: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ηλιέλαιο με το χρόνο, κατά τη δεύτερη σειρά τηγανισμάτων



Διάγραμμα 16: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ηλιέλαιο με το χρόνο, κατά τη πρώτη σειρά τηγανισμάτων



Διάγραμμα 17: Σχέση πάχους τηγανιζόμενης πατάτας σε ελαιόλαδο με το χρόνο, κατά τη δεύτερη σειρά τηγανισμάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aguilera, J. M. and Gloria, H. (1997). Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. *J. Agric. Food Chem.* 45, 781–785.

Andrikopoulos, N. K., Kalogeropoulos N., Falirea A., Barbagianni M.N., (2002). Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 37:177-190

Blumenthal, M. M. (1991). A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. *Food Technol.* 45, 68–71.

Blumenthal, M. M. and Stier, R. F. (1991). Optimization of deep-fat frying operations. *Trend. Food Sci. Technol.* 2, 144–148.

Bognar A (1998). Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. *Grassas Aceites*; 49:250-260.

Bouchon, P. and Pyle, D. L. (2005b). Modelling oil absorption during post-frying cooling. I Model development. *Trans. Inst. Chem. Eng. C Food Bioproducts Process.* 83, 261–272.

Bouchon, P., Hollins, P., Pearson, M., Pyle, D. L., and Tobin, M. J. (2001). Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy. *J. Food Sci.* 66, 918–923.

Bouchon, P., Aguilera, J. M., and Pyle, D. L. (2003). Structure oilabsorption relationships during deep-fat frying. *J. Food Sci.* 68(9), 2711–2716.

Bouchon, P. and Pyle, D. L. (2004). Studying oil absorption in restructured potato chips. *J. Food Sci.* 69, E115–E122.

Bouchon, P. and Pyle, D. L. (2005a). Modelling oil absorption during post-frying cooling. II Solution of the mathematical model, model testing and simulations. *Trans. Inst. Chem. Eng. C Food Bioproducts Process.* 83, 253–260.

Bouchon, P. and Aguilera, J. M. (2001). Microstructural analysis of frying of potatoes. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36, 669–676.

Debnath, S., Rastogi, N.K., Gopala Krishna, A.G., Lokesh, B.R.(2009), *LWT Food Sci Technol* 1054-1058

Dobarganes C, Marquez-Ruiz G, Velasco J.(2000), Interactions between fat and food during deep-frying. *Eur J Lipid Sci Technol*;102:521-528.

Fillion L, Henry CJK.(1998) Nutrient losses and gains during frying: a review *Int Journal Food Sci Nutr*;49:157-168.

Gamble, M. H., Rice, P., and Selman, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22, 233–241.

Gamble, M. H. and Rice, P. (1988). The effect of slice thickness on potato crisp yield and composition. *J. Food Eng.* 8, 31–46.

Gamble, M. H. and Rice, P. (1987). Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22, 535–548.

Gamble, M. H., Rice, P., and Selman, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22, 233–241

Gamble, M. H. and Rice, P. (1987). Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22, 535–548.

Gamble, M. H. and Rice, P. (1988). The effect of slice thickness on potato crisp yield and composition. *J. Food Eng.* 8, 31–46.

Gillat, P. (2001). Flavour and aroma development in frying and fried food. In “Frying: Improving Quality” (J. B. Rossell, ed.), pp. 266–366. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.

Gordon MH, Kounmska L.(1995) Effect of antioxidants on losses of tocopherols during deep-fat frying. *Food Chem*; 52(2):175-177.

Holland B, Welch AA, Unwin ID, Buss DH, Paul AA, Southgate (1991) The composition of foods. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry; 10-21.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., and Maroulis, Z. B. (2000). Water loss and oil uptake as a function of frying time. *J. Food Eng.* 44, 39–46.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., and Marinos-Kouris, D. (2001a). Effect of pre-treatment on viscoelastic behavior of potato strips. *J. Food Eng.* 50, 11–17.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., and Marinos-Kouris, D. (2001b). Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *J. Food Eng.* 49, 339–345

McSavage J, Trevisan S. The use and abuse of frying oil. *Food Serv Technol* 2001;1:85-92

Mindell E. Foods as medicine. Ed Pataki, New York 2002:47-96.

Moreira, R. G. and Barrufet, M. A. (1998). A new approach to describe oil absorption in fried foods: A simulation study. *J. Food Eng.* 35, 1–22.

Moreira, R. G., Palau, J., Sweat, V., and Sun, X. (1995a). Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. *J. Food Process. Preservation* 19, 175–189.

Moreira, R. G., Palau, J., and Sun, X. (1995b). Simultaneous heat and mass transfer during the deep fat frying of tortilla chips. *J. Food Process Eng.* 18, 307–320.

Moreira, R. G., Sun, X., and Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *J. Food Eng.* 31, 485–498.

Moreira, R. G., Castell-Perez, M. E., and Barrufet, M. A. (1999). “Deep-Fat Frying: Fundamental and Applications.” Aspen Publication, Gaithersburg.

Moreno, M. C., Cristopher, A. B. and Bouchon, P. (2010). Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Eng.*, 179-186

Ni, H. and Datta, A. K. (1999). Moisture, oil and energy transport during deep-fat frying of food materials. *Trans. Inst. Chem. Eng. C Food Bioproducts Process.* 77, 194–204.

Nonaka, M., Sayre, R. N., and Weaver, M. L. (1977). Oil content of French fries as affected by blanch temperatures, fry temperatures and melting point of frying oils. *Am. Potato J.* 54, 151–159.

Pedreschi, F., Aguilera, J. M., and Arbildua, J. J. (1999). CLSM study of oil location in fried potato slices. *Microsc. Anal.* 37, 21–22.

Pedreschi, F., Aguilera, J. M., and Brown, C. (2000). Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. *J. Food Process Eng.* 23, 127–143.

Pinthus, E. J. and Saguy, I. S. (1994). Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. *J. Food Sci.* 59, 804–807, 823.

Pinthus, E. J., Weinberg, P., and Saguy, I. S. (1993). Criterion for oil uptake during deep-fat frying. *J. Food Sci.* 58, 204–205, 222.

Pinthus, E. J., Weinberg, P., and Saguy, I. S. (1995). Oil uptake in deep-fat frying as affected by porosity. *J. Food Sci.* 60, 767–769.

Saguy, I. S., Ufheil, G., and Livings, S. (1998). Oil uptake in deep-fat frying: Review. *Oleagineux, Corps Gras, Lipids* 5, 30–35

Saguy, S.-I. & Dana, D., (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects *J. Food Eng.* 56 143-152.

Saguy, S. and Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J. Food Eng.* 56, 143–152.

Saguy, I. S., Gremaud, E., Gloria, H., and Turesky, R. J. (1997). Distribution and quantification of oil uptake in french fries utilizing a radiolabeled ¹⁴C palmitic acid. *J. Agric. Food Chem.* 45, 4286–4289.

Singh, S. & Tyagi, V.K., (2000). Assessment of frying quality by determination of polar components, *J. Oil Technol. Assoc. India* , 32, 66-70.

Stier F., Richard. Chemistry of frying and optimization of deep-fat fried food, An introductory review *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2000; 102:507-514.

Stier F., 2004. Tests to monitor quality of deep-frying fats and oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*.

Ufheil, G. and Escher, F. (1996). Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*. 29, 640–644.

Vitrac, O., Trystram, G. & Raoult-Wack, A.L., (2000). Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102, 529-538.

Μπόσκου Δ. Χημεία Τροφίμων. Εκδόσεις Γαρταγάνη: Θεσσαλονίκη 1997.

Φωτεινή Σάλτα, (2007) <<Ανάλυση και αξιολόγηση μικροσυστατικών και παραπροϊόντων τηγανίσματος σε έλαια και πατάτες>>, Διδακτορική διατριβή

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εκπονήθηκε από την φοιτήτρια Κωνσταντά Μαρία του Τμήματος Διαιτολογίας και Διατροφής στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Το εργαστηριακό κομμάτι της μελέτης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας, Φυτικοχημείας και Βιοχημείας Τροφίμων υπό την επίβλεψη του καθηγητή Βάιου Καραθάνου.

Στον κύριο Καραθάνο οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες για την υποστήριξη και την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής. Ήταν πάντοτε διαθέσιμος και πρόθυμος να συμβάλλει καθοριστικά με την πολύτιμη εμπειρία του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον δρ. Νικόλαο Καλογερόπουλο για τη συμπαράσταση του κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, χωρίς την βοήθεια του οποίου η ολοκλήρωση αυτής της μελέτης θα ήταν αδύνατη.

Ευχαριστώ επίσης το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο για την διάθεση του εργαστηριακού χώρου και την παραχώρηση των οργάνων για την πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω στην κα Μαργαρίτα Χρηστέα για την βοήθεια της κατά το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας.

Επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Παναγιώτη Ηγουμενίδη για την πολύτιμη συμβολή του στο πειραματικό μέρος.

Τέλος, ευχαριστώ τον Βαλάντη, τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για τη συμπαράσταση, την αγάπη και την κατανόηση που έδειξαν όλο αυτόν τον καιρό.