



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αποβολή υγρασίας, πρόσληψη ελαίου και μικροδομή της
κρούστας κατά το τηγάνισμα.

Τζαμουράνη Δανάη

Θεσσαλονίκη 2014

Αποβολή υγρασίας, πρόσληψη ελαίου και μικροδομή της κρούστας κατά το τηγάνισμα.

Τζαμουράνη Δανάη

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία

19-2-2014

Εισηγήτρια

Καλογιάννη Ελένη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στην καθηγήτρια του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων, Δρ. Καλογιάννη Ελένη, για την επιστημονική καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράστασή της σε κάθε βήμα της εργασίας αυτής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Παπαστεργιάδη Ευθύμιο και τον Δρ. Καραγιαννακίδη Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια τους στην διεκπεραίωση των πειραμάτων.

Αποβολή υγρασίας, πρόσληψη ελαίου και μικροδομή της κρούστας κατά το τηγάνισμα.

Τζαμουράνη Δανάη

ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση του τηγανίσματος με εμβάπτιση στην υγρασία, το λίπος και την μικροδομή της κρούστας σε ράβδους πατάτας, μελιτζάνας, κολοκυθίου και καρότου. Το τηγάνισμα έγινε σε όλες τις περιπτώσεις υπό το ίδιο προφίλ θερμοκρασίας – χρόνου με θερμοκρασία εμβάπτισης τους 170°C και χρόνο 5min. Επίσης το μέγεθος των ράβδων που χρησιμοποιήθηκαν στο τηγάνισμα ήταν το ίδιο (1cm*1cm*6cm) για όλα τα φυτικά τρόφιμα. Η αποβολή υγρασίας διέφερε μεταξύ των τροφίμων που επεξεργάστηκαν υπό τις ίδιες συνθήκες. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για την πρόσληψη ελαίου. Την μεγαλύτερη πρόσληψη ελαίου παρουσίασε η μελιτζάνα (57%) κατόπιν το κολοκύθι (24,7%) και μετά το καρότο (11,6%) και η πατάτα (10,7%). Η πατάτα και το καρότο παρουσίασαν μια συρρίκνωση της τάξης του 15% ενώ αντίθετα το κολοκύθι και η μελιτζάνα της τάξης του 40%. Γενικά στα τρόφιμα στα οποία παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας και η μεγαλύτερη συρρίκνωση παρατηρήθηκε και η μεγαλύτερη πρόσληψη ελαίου. Τέλος, με την βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές στην μικροδομή της κρούστας κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, όπως η δημιουργία μεγάλων ανοιγμάτων και συρρίκνωσης. Επίσης παρατηρήθηκε πως το καρότο και η πατάτα που είχαν παρόμοια μικροδομή παρουσίασαν παρόμοια αποβολή υγρασίας και πρόσληψη ελαίου.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	3
2.1 Τηγάνισμα	3
2.1.1 Γενικά.....	3
2.1.2 Μέθοδοι τηγανίσματος.....	4
2.1.3 Διαδικασία τηγανίσματος.....	5
2.1.4 Χρονικό σημείο λήξης τηγανίσματος.....	7
2.2 Γενικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών	8
2.2.1 Πατάτα.....	8
2.2.2 Κολοκύθι	9
2.2.3 Μελιτζάνα.....	11
2.2.4 Καρότο	12
2.2.5 Ηλιέλαιο	14
2.3 Μεταβολές που συμβαίνουν στα τρόφιμα κατά το τηγάνισμα.....	14
2.3.1 Γενικά.....	14
2.3.2 Αποβολή υγρασίας	15
2.3.3 Απορρόφηση ελαίου.....	16
2.3.4 Μικροδομή της κρούστας.....	23
2.4 Έλεγχος παρατηρούμενων μεταβολών κατά την διεργασία.....	25
2.4.1 Έλεγχος μεταβολών περιεχόμενης υγρασίας	25
2.4.2 Έλεγχος μεταβολών περιεχόμενου ελαίου.	25
2.4.3 Έλεγχος μεταβολών στην μικροδομή της κρούστας	26
3. Σκοπός της εργασίας	28
4. Πειραματικά Δεδομένα	29
4.1 Υλικά, Όργανα και μέθοδοι.....	29
4.1.1 Φυτικά τρόφιμα και έλαιο τηγανίσματος.	29
4.1.2 Αντιδραστήρια.....	29
4.1.3 Όργανα	29
4.1.4 Μεταχείριση δειγμάτων πριν την επεξεργασία.	30
4.1.5 Τηγάνισμα	30
4.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	31
4.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας	31
4.2.2 Προσδιορισμός ελαίου	32

4.2.3 Προσδιορισμός του βαθμού συρρίκνωσης.....	33
4.2.4 Προσδιορισμός της μικροδομής της κρούστας	33
5. Αποτελέσματα	34
5.1 Προκαταρκτικές δοκιμές	34
5.1.1 Δοκιμές τηγανίσματος	34
5.1.2 Δοκιμές για τον προσδιορισμό χρόνου και της μεθόδου που απαιτείται για την ξήρανση των τροφίμων	36
5.1.3 Προκαταρκτικές δοκιμές για τον προσδιορισμό του ελαίου.	39
5.2 Κύριες δοκιμές	43
5.2.1 Επίδραση του τηγανίσματος στην θερμοκρασία του ελαίου.....	43
5.2.1 Επίδραση του τηγανίσματος στην περιεχόμενη υγρασία των τροφίμων.....	45
5.2.2 Επίδραση του τηγανίσματος στην πρόσληψη του ελαίου	46
5.2.3 Επίδραση του τηγανίσματος στο πάχος των τροφίμων	49
5.2.4 Επίδραση του τηγανίσματος στην μικροδομή της κρούστας των φυτικών τροφίμων	50
6. Συμπεράσματα.....	62
7. Βιβλιογραφία.....	63
8. Παράρτημα	67

1. Εισαγωγή

Το τηγάνισμα είναι μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους προετοιμασίας των τροφίμων, που χρησιμοποιείται ευρέως τόσο από τις βιομηχανίες των τροφίμων όσο και από τους καταναλωτές (Saguy and Dana, 2003).

Το τηγάνισμα συνίσταται στο μαγείρεμα των τροφίμων κατά το οποίο η θέρμανση γίνεται σε επαφή με θερμό λίπος ή έλαιο. Όταν ένα τρόφιμο τοποθετείται μέσα σε καυτό έλαιο συμβαίνει μια γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του προϊόντος, με αποτέλεσμα την εξάτμιση νερού. Η επιφάνεια του προϊόντος αρχίζει να ξηραίνεται, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται κρούστα, όπως και κατά το ψήσιμο. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η θερμοκρασία στην επιφάνεια του προϊόντος πλησιάζει ή εξισώνεται με τη θερμοκρασία του καυτού ελαίου, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό είναι ίση με τη θερμοκρασία εξάτμισης του νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή 100°C (Μπλούκας, 2004).

Στο βαθύ τηγάνισμα (τηγάνισμα με εμβάπτιση) το τρόφιμο είναι εντελώς περικυκλωμένο από το λίπος ή το έλαιο τηγανίσματος και μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα συμβαίνουν διάφορα γεγονότα: αφυδάτωση της επιφάνειας του τροφίμου, απορρόφηση του ελαίου, σχηματισμός των ενώσεων που προσδίδουν γεύση και άρωμα, ανάπτυξη χρώματος στην επιφάνεια, κλπ. Λόγω των δραστικών συνθηκών που ισχύουν στο βαθύ τηγάνισμα, το έλαιο τηγανίσματος υποβάλλεται επίσης σε υποβάθμιση (Dobarganes et al., 2000).

Η πρώτη φάση της διαδικασίας του τηγανίσματος είναι η μεταφορά της υγρασίας. Αμέσως μόλις το τρόφιμο βυθιστεί στο καυτό έλαιο πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας από το μέσο τηγανίσματος στην επιφάνεια του τροφίμου. Ως αποτέλεσμα, το νερό από την εξωτερική επιφάνεια του τροφίμου εξατμίζεται και διαφεύγει εντός του μέσου τηγανίσματος. Αυτή η αφυδάτωση της επιφάνειας αναγκάζει το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του τροφίμου να κινηθεί προς την εξωτερική επιφάνεια. (Paul et al., 1997).

Η μεταφορά μάζας κατά το τηγάνισμα δεν χαρακτηρίζεται μόνο από την κίνηση του νερού υπό μορφή ατμού από το τρόφιμο μέσα στο λάδι, αλλά και από την διακίνηση του ελαίου στο τρόφιμο. Το τηγάνισμα είναι μια διαδικασία αφυδάτωσης, όπου η διαφυγή του νερού αφήνει κενούς χώρους εντός της δομής του κρούστας, η

οποία με την σειρά της καθορίζει τον διαθέσιμο όγκο για την απορρόφηση του ελαίου (Bouchon, 2009).

Ακόμα και αν δεν είναι πλήρως κατανοητό το πότε και το πώς το έλαιο διεισδύει στη δομή των τροφίμων, έχει αποδειχτεί ότι το περισσότερο έλαιο περιορίζεται προς την επιφάνεια του τηγανισμένου προϊόντος και υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι, ως επί το πλείστον απορροφάται κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης (Bouchon, 2009).

Η διαδικασία του τηγανίσματος, τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και η ποιότητα του ελαίου είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του ελαίου (Dana and Saguy, 2006).

Η κρούστα των τηγανητών πατατών είναι το αποτέλεσμα πολλών αλλαγών που συμβαίνουν κυρίως σε κυτταρικό και υπό κυτταρικό επίπεδο στα εξωτερικά στρώματα του τροφίμου, όπου η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 100°C. Αυτές οι χημικές και φυσικές αλλαγές περιλαμβάνουν: δομικές μεταβολές που προκαλούνται όταν το τρόφιμο κόβεται και μια τραχιά επιφάνεια σχηματίζεται με την απελευθέρωση του ενδοκυτταρικού υλικού, την ζελατινοποίηση του αμύλου και την επακόλουθη αφυδάτωση, την μετουσίωση των πρωτεϊνών, την εξάτμιση του νερού και την ταχεία αφυδάτωση των κυττάρων που βρίσκονται στην σχηματιζόμενη κρούστα και την ίδια την πρόσληψη του ελαίου (Dueik & Bouchon, 2011).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδραση του βαθύ τηγανίσματος στην περιεχόμενη υγρασία, στο περιεχόμενο έλαιο και στην μικροδομή της κρούστας σε ράβδους πατάτας, κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της επεξεργασίας στο βαθμό συρρίκνωσης των φυτικών αυτών τροφίμων.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Τηγάνισμα

2.1.1 Γενικά

Το τηγάνισμα είναι ένας από τους παλαιότερους τρόπους παρασκευής τροφίμων. Υποθετικά έχει τις ρίζες του στην Κίνα, όπου τα τρόφιμα προμαγειρεύονταν πριν ψηθούν. Αιγυπτιακές τοιχογραφίες δείχνουν ζυμάρια που τηγανίζονται σε έλαιο κάτι που αποδεικνύει ότι στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αφρική χρησιμοποιούσαν καυτό έλαιο για το μαγείρεμα των τροφίμων από την π.Χ. εποχή. Ακόμα και στην Βίβλο υπάρχουν αναφορές που θα μπορούσαν να ερμηνευτούν ως μία πρόμητη προσπάθεια για τηγάνισμα (Stier, 2004).

Το τηγάνισμα συνίσταται στο μαγείρεμα των τροφίμων κατά το οποίο η θέρμανση γίνεται σε επαφή με θερμό λίπος ή έλαιο. Όταν ένα τρόφιμο τοποθετείται μέσα σε καυτό έλαιο συμβαίνει μια γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του προϊόντος, με αποτέλεσμα την εξάτμιση νερού. Η επιφάνεια του προϊόντος αρχίζει να ξηραίνεται, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται κρούστα, όπως και κατά το ψήσιμο. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η θερμοκρασία στην επιφάνεια του προϊόντος πλησιάζει ή εξισώνεται με τη θερμοκρασία του καυτού ελαίου, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό είναι ίση με τη θερμοκρασία εξάτμισης του νερού σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή 100°C (Μπλούκας, 2004).

Βασικά, το τηγάνισμα είναι μια διαδικασία αφυδάτωσης με τρία χαρακτηριστικά:

- Υψηλή θερμοκρασία ελαίου (160-180°C) που επιτρέπει την γρήγορη μεταφορά θερμότητας και μειώνει το χρόνο μαγειρέματος.
- Η θερμοκρασία του προϊόντος (εκτός της περιοχής της κρούστας) δεν υπερβαίνει τους 100°C.
- Η αποβολή των υδατοδιαλυτών ενώσεων είναι ελάχιστη.

(Saguy and Dana, 2003)

Το τηγάνισμα χρησιμοποιείται ευρέως τόσο από τις βιομηχανίες των τροφίμων όσο και από τους καταναλωτές. Η δημοτικότητα του συνεχίζει να αυξάνει πάρα τις προτροπές των μέσων μαζικής ενημέρωσης για μείωση της κατανάλωσης ελαίου (Orthofer et al., 2006).

Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το τηγάνισμα είναι μια γρήγορη και εύκολη τεχνική για την παραγωγή τροφίμων που έχουν μοναδικές

οργανοληπτικές ιδιότητες όπως, χρώμα, γεύση και υφή οι οποίες εκτιμώνται ιδιαίτερα από τους καταναλωτές. Οι επιθυμητές αυτές αλλαγές συνοδεύονται από κάποιες ανεπιθύμητες του μέσου τηγανίσματος. Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, θερμικές, οξειδωτικές και υδρολυτικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα και ως εκ τούτου φυσικές και χημικές αλλαγές αναμένονται να προκύψουν στο έλαιο ως συνέπεια του σχηματισμού των νέων ενώσεων. Τα τρόφιμα που τηγανίζονται απορροφούν το έλαιο αυτό το οποίο έχει υποβαθμιστεί και το οποίο συμβάλλει σημαντικά στην ποιότητα τους (Dobarganes et al., 2000).

Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι ενώ το τηγάνισμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή επιθυμητών προϊόντων διατροφής χρησιμοποιείται επίσης για την μείωση του μικροβιακού φορτίου του τροφίμου ώστε να κριθεί κατάλληλο για κατανάλωση (Farkas et al., 1996).

2.1.2 Μέθοδοι τηγανίσματος

Το τηγάνισμα των τροφίμων μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους:

- Το αβαθές τηγάνισμα όπου το τρόφιμο έρχεται σε επαφή με ένα μικρό στρώμα λαδιού. Η μετάδοση της θερμότητας στο τρόφιμο γίνεται κυρίως με αγωγιμότητα από τα τοιχώματα του μεταλλικού περιέκτη που περιέχει το καυτό έλαιο. Η θέρμανση, όμως δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια επαφής του τροφίμου με τον περιέκτη επειδή το ίδιο το προϊόν παρουσιάζει ανωμαλίες στην επιφάνεια του και δεν εφάπτεται πλήρως στον περιέκτη. Επίσης, στην επιφάνεια επαφής του προϊόντος με τον περιέκτη δημιουργούνται φυσαλίδες ατμού που παρεμποδίζουν την πλήρη επαφή του με τον περιέκτη. Αποτέλεσμα των παραπάνω προβλημάτων είναι να υπάρχουν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε όλη την επιφάνεια, η οποία αντανακλά την ανομοιομορφία στο χρώμα του τηγανισμένου προϊόντος. Η μέθοδος αβαθούς τηγανίσματος ενδείκνυται για προϊόντα που έχουν μεγάλη αναλογία επιφάνειας/όγκου, όπως φέτες μπέικον, αυγά, μπιφτέκια, πίτες κ.ά. (Μπλούκας, 2004).
- Το βαθύ τηγάνισμα (τηγάνισμα με εμβάπτιση) στο οποίο το τρόφιμο είναι βυθισμένο μέσα στο καυτό έλαιο. Η μετάδοση της θερμότητας από το καυτό έλαιο στην επιφάνεια του προϊόντος γίνεται με επαγωγή, ενώ στο εσωτερικό του προϊόντος η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγιμότητα. Όλες οι πλευρές του

τροφίμου δέχονται την ίδια θέρμανση, με αποτέλεσμα το χρώμα και η εμφάνιση του τηγανισμένου προϊόντος να είναι ομοιόμορφα. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται για τρόφιμα κάθε σχήματος. Όμως τα τρόφιμα με ανώμαλο σχήμα, καθώς και εκείνα που έχουν μεγάλο λόγο επιφάνειας/όγκου, έχουν την τάση να προσροφούν και να εγκλωβίζουν μεγαλύτερη ποσότητα ελαίου μετά το τηγάνισμα. (Μπλούκας, 2004).

Τέλος ο Bognar (1998) αναφέρει και το ψήσιμο σε φούρνο με ή χωρίς τη χρησιμοποίηση ελαίου ως μέθοδο τηγανίσματος κυρίως για πρωτεϊνούχα τρόφιμα.

2.1.3 Διαδικασία τηγανίσματος

Το βαθύ τηγάνισμα, επίσης γνωστό και ως τηγάνισμα βύθισης, είναι μια από τις παλαιότερες και πιο κοινές λειτουργικές μονάδες που χρησιμοποιείται στην παρασκευή τροφίμων. Η διαδικασία αυτή αναπτύχθηκε για πρώτη φορά γύρω από την περιοχή της Μεσογείου, λόγω της επιρροής του ελαιολάδου εκεί, αλλά σήμερα πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα υπόκεινται σε βαθύ τηγάνισμα λόγω του μοναδικού συνδυασμού αρώματος, υφής που προσδίδεται στα τρόφιμα (Bouchon, 2009).

Το βαθύ τηγάνισμα είναι η βύθιση ενός τροφίμου μέσα σε λίπος ή έλαιο που θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού του νερού και είναι μια πολύ γρήγορη διαδικασία ξήρανσης κατά την οποία λαμβάνουν χώρα πολλά ενδιαφέροντα φαινόμενα: γρήγορο μαγείρεμα, αντιδράσεις μη ενζυμικής αμαύρωσης και ταχεία ανάπτυξη κρούστας, χρώματος, γεύσης και οσμής (Pedreschi, 2012).

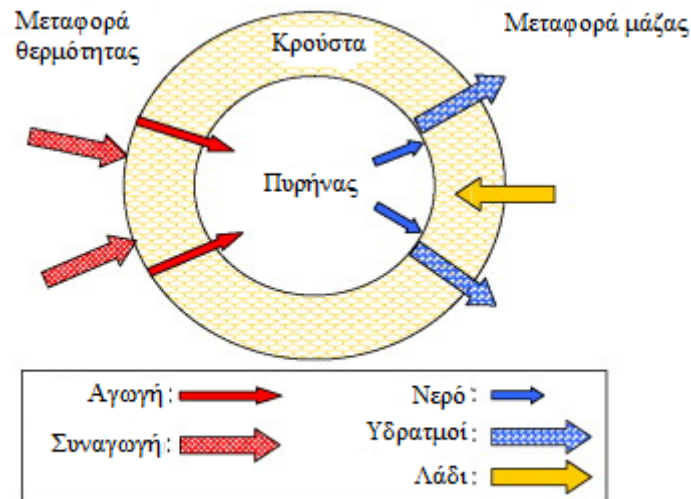
Η διαδικασία μπορεί να σπάσει σε τέσσερα στάδια:

- 1) Το πρώτο στάδιο, η αρχική θέρμανση, είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία η επιφάνεια του προϊόντος θερμαίνεται από την αρχική της θερμοκρασία στο σημείο βρασμού του νερού. Το στάδιο αυτό είναι συνήθως μικρό και η ποσότητα του νερού που χάνεται από το τρόφιμο είναι αμελητέα.
- 2) Το δεύτερο στάδιο, ο επιφανειακός βρασμός, εκδηλώνεται με την ταχεία απώλεια του επιφανειακού ελεύθερου νερού, την αύξηση του επιφανειακού συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας και την έναρξη σχηματισμού της κρούστας.
- 3) Η περίοδος ελαττωμένου ρυθμού, το τρίτο στάδιο, αντιπροσωπεύει τη χρονική περίοδο κατά την οποία χάνεται το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας. Είναι το

μεγαλύτερο στάδιο και η θερμοκρασία στην περιοχή του πυρήνα πλησιάζει εκείνη του σημείου βρασμού του νερού.

- 4) Το τελικό σημείο φυσαλίδας (bubble end point) είναι το τελευταίο στάδιο του τηγανίσματος και χαρακτηρίζει το τέλος της απώλειας της υγρασίας από το προϊόν κατά το τηγάνισμα (Farinu and Baik, 2006).

Η θερμοκρασία του τηγανίσματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 130°C και 190°C, αλλά η πιο κοινή θερμοκρασία τηγανίσματος κυμαίνεται στην περιοχή των 170-190°C. Το βαθύ τηγάνισμα είναι μια σύνθετη διεργασία που περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες, σημαντικές αλλαγές στη μικροδομή τόσο της επιφάνειας όσο και του σώματος του τροφίμου και ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας με ροές σε αντίθετες κατευθύνσεις των υδρατμών (φυσαλίδες) και του ελαίου στην επιφάνεια του τροφίμου όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 1. Οι υψηλές θερμοκρασίες του ελαίου τηγανίσματος οδηγούν στην εξάτμιση του νερού στην επιφάνεια με αποτέλεσμα η επιφάνεια να γίνεται ξηρή και έτσι σχηματίζεται μια κρούστα. Επιπλέον το έλαιο απορροφάται από το τρόφιμο, αντικαθιστώντας μέρος του νερού. Ένας από τους βασικούς στόχους του βαθύ τηγανίσματος είναι να σφραγίσει την επιφάνεια του τροφίμου καθώς βυθίζεται το τρόφιμο μέσα στο λουτρό του ελαίου έτσι ώστε η γεύση και οι χυμοί να μπορούν να διατηρηθούν επιτυχώς εντός του τροφίμου. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των τηγανισμένων τροφίμων προέρχονται από τον σχηματισμό μιας σύνθετης δομής: ένα ξηρό, πορώδη, τραγανό και ελαιώδη εξωτερικό στρώμα ή κρούστα και ένα υγρό μαγειρεμένο εσωτερικό στρώμα (Bouchon, 2009).



Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα της ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας (αριστερή πλευρά σχήματος) και μάζας (δεξιά πλευρά σχήματος) κατά τη διάρκεια του βαθύ τηγανίσματος (Bouchon, 2009).

2.1.4 Χρονικό σημείο λήξης τηγανίσματος.

Το χρονικό σημείο λήξης του τηγανίσματος ενός τροφίμου εξαρτάται από το βαθμό που είναι μαγειρεμένο το τρόφιμο. Αυτό συνήθως χαρακτηρίζεται από τα οργανοληπτικά ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, το σχήμα, την οσμή και την υφή. Για το χρονικό σημείο λήξης του τηγανίσματος ή για το χρόνο τηγανίσματος αντίστοιχα, των τηγανιτών τροφίμων, δύο στοιχεία είναι απαραίτητα:

- Η δημιουργία ελκυστικού και χαρακτηριστικού μαυρίσματος της επιφάνειας, κρούστας, καθώς και αρωματικών ενώσεων.
- Ορισμένος «εσωτερικός» βαθμός μαγειρέματος, ο οποίος απεικονίζεται από το χρώμα, τη γεύση και την υφή του τροφίμου.

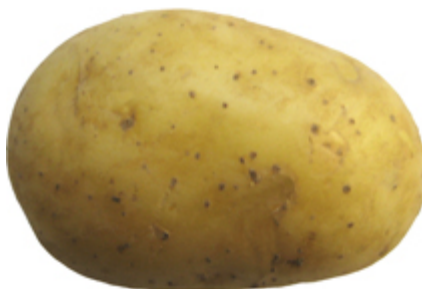
Τόσο η εξωτερική εμφάνιση όσο και ο εσωτερικός βαθμός μαγειρέματος θα πρέπει να είναι τα βέλτιστα κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας του μαγειρέματος (Bognar, 1998).

2.2 Γενικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών

2.2.1 Πατάτα

Η πατάτα (*Solanum tuberosum L.*) προέρχεται από τις Άνδεις της Νότιας Αμερικής όπου αποτελούσε ένα σημαντικό τρόφιμο για 8000 χρόνια. Η πατάτα προσαρμόζεται πολύ καλά στις κρύες θερμοκρασίες που επικρατούν στα βουνά της Χιλής, του Περού και της Βολιβίας. (Pavlista and Ojala, 1997). Μετά την κατάκτηση του Περού, οι Ισπανοί εισήγαγαν τις πατάτες στην χώρα τους και διάδωσαν την καλλιέργεια τους σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες από τα τέλη του 16^{ου} αιώνα (Salunkhe et al., 1989).

Η πατάτα (Σχήμα 2) ανήκει στην οικογένεια των *Solanaceae* του γένους *Solanum*. Ο αριθμός των ποικιλιών της πατάτας που υπάρχουν και αναπτύσσονται σε όλο τον κόσμο ανέρχεται στις 3000 και 700 από αυτές καλλιεργούνται κυρίως στην Ευρώπη (Leszczynski, 1989).



Σχήμα 2: Πατάτα (*Solanum tuberosum L.*)

Η χημική σύσταση των κονδύλων πατάτας εξαρτάται από τα γενετικά χαρακτηριστικά τους, από την ηλικία και την ωριμότητα των κονδύλων καθώς επίσης και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, δηλαδή τις κλιματικές συνθήκες και τις συνθήκες του εδάφους, τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες ανάπτυξης, όπως είναι η γονιμοποίηση, τα φυτοφάρμακα και οι ασθένειες (Leszczynski, 1989).

Σύμφωνα με το Υπουργείο γεωργίας των Η.Π.Α (USDA) κάποια από τα θρεπτικά συστατικά της ωμής πατάτας είναι αυτά που φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Χημική σύσταση ωμής πατάτας

Συστατικό	Μονάδα	Αξία ανά 100 g
Νερό	g	79,34
Ενέργεια	kcal	77
Πρωτεΐνη	g	2,02
Ολικά λιπίδια	g	0,09
Τέφρα	g	1,08
Υδατάνθρακες	g	17,47
Ολικές διαιτητικές ίνες	g	2,2
Ολικά σάκχαρα	g	0,78
Σακχαρόζη	g	0,17
Γλυκόζη	g	0,33
Φρουκτόζη	g	0,27
Λακτόζη	g	0,00
Μαλτόζη	g	0,00
Γαλακτόζη	g	0,00
Άμυλο	g	15,44

(USDA, 2014)

Η πλειονότητα των πατατών καταναλώνονται αφού υποστούν κάποια επεξεργασία. Από την επεξεργασία των πατατών παράγονται διάφορα προϊόντα όπως οι τηγανητές πατάτες, τα τσιπς πατάτας και άλλα κατεψυγμένα και αφυδατωμένα προϊόντα (Pavlista and Ojala, 1997).

Οι τηγανιτές πατάτες δημιουργήθηκαν στο Βέλγιο τον δέκατο έβδομο αιώνα από αγρότες που, κατά τον βαρύ χειμώνα, έψαχναν για ένα υποκατάστατο τρόφιμο για τα μη διαθέσιμα τηγανητά ψάρια. (Moreira et al., 1999)

2.2.2 Κολοκύθι

Το κολοκύθι (Σχήμα 3) είναι μια δημοφιλής ποικιλία των *Cucurbita pepo*, της οικογένειας των *Cucurbitaceae*, που έχει την προέλευση της στην Ευρώπη. Είναι αποτέλεσμα μια μετάλλαξης που έγινε στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα στην Ιταλία από τα *Cucurbita pepo*, τα οποία προέρχονται από το Μεξικό. (Lim, 2012).



Σχήμα 3: Κολοκύθι (*Cucurbita pepo*)

Τα κολοκύθια ευδοκιμούν καλύτερα σε περιοχές με θερμοκρασίες ημέρας μεταξύ 24°C και 29°C και νύχτας 16°C με 24°C. Μπορούν να καλλιεργηθούν σε μία ευρεία ποικιλία εδάφους. Προτιμούν τα ξηρά, γόνιμα και υψηλής οργανική ύλης εδάφη, με βέλτιστο pH 5,5-7,5 (Lim, 2012).

Ο καρπός, οι ανθοί, και τα νεαρά φύλλα, και οι σπόροι του *C.pepo* είναι βρώσιμα. Οι ανώριμοι καρποί, που ονομάζονται κολοκύθια είναι σημαντικά είδη του *C.pepo*. Τρώγονται ως λαχανικό, στον ατμό, βραστά, στην σχάρα, τηγανητά, ψητά, στα κάρβουνα και γεμιστά. Χρησιμοποιούνται ξεφλουδισμένα και μαγειρεμένα (Lim, 2012). Η χημική σύσταση του καρπού φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Χημική σύσταση ωμού κολοκυθιού

Συστατικό	Μονάδα	Αξία ανά 100 g
Νερό	g	94,79
Ενέργεια	kcal	17
Πρωτεΐνη	g	1,21
Ολικά λιπίδια	g	0,32
Τέφρα	g	0,58
Υδατάνθρακες	g	3,11
Ολικές διαιτητικές ίνες	g	1,0
Ολικά σάκχαρα	g	2,50
Σακχαρόζη	g	0,05
Γλυκόζη	g	1,07
Φρουκτόζη	g	1,38
Λακτόζη	g	0,00
Μαλτόζη	g	0,00
Γαλακτόζη	g	0,00
Άμυλο	g	0,00

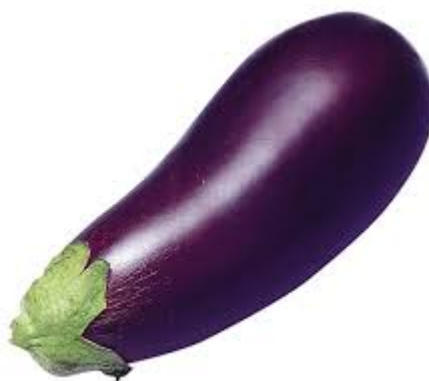
(USDA, 2014)

Τα κολοκύθια συνήθως τρώγονται μαγειρεμένα στις διάφορες κουζίνες. Μπορούν να παρασκευαστούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών μαγειρέματος, όπως στον ατμό, βραστά, ψητά, γεμιστά και ψητά, στα κάρβουνα, τηγανητά ή να ενσωματωθούν σε άλλες συνταγές όπως σουφλέ. Στο Μεξικό τα κολοκύθια χρησιμοποιούνται συχνά σε σαλάτα. Στην Ιταλία, το κολοκύθια σερβίρονται με ποικίλους τρόπους, κυρίως παναρισμένα και τηγανισμένα. Στη Λιβύη, τα κολοκυθάκια είναι γεμιστά με κιμά και ρύζι μαζί με βότανα και μπαχαρικά και γίνονται στον ατμό. Τέλος στην Ελλάδα, τα κολοκύθια συνήθως είναι τηγανητά ή βραστά με άλλα λαχανικά. Σερβίρονται ως ορεκτικό, ή κατά τη διάρκεια της νηστείας ως κύριο πιάτο (Lim, 2012).

2.2.3 Μελιτζάνα

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena L.*) πιθανότατα προέρχεται από την Ινδία, με την Κίνα και την Ιαπωνία να αναφέρονται ως πιθανό δευτερεύον κέντρο προέλευσης. Το φυτό καλλιεργείται στην Ασία πάνω από 1500 χρόνια. Οι Άραβες εισήγαγαν την καλλιέργεια αυτή στα δυτικά κατά τη διάρκεια του δέκατου πέμπτου αιώνα (Rajam and Kumar, 2007).

Η μελιτζάνα (Σχήμα 4) είναι ένας σημαντικός καρπός των τροπικών και εύκρατων περιοχών του κόσμου. Είναι μια καλή πηγή βιταμινών και μετάλλων, ειδικά σιδήρου (Rajam and Kumar, 2007). Η χημική σύσταση της μελιτζάνας παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.



Σχήμα 4: Μελιτζάνα (*Solanum melongena L.*)

Πίνακας 3: Χημική σύσταση ωμής μελιτζάνας

Συστατικό	Μονάδα	Αξία ανά 100 g
Νερό	g	92,30
Ενέργεια	kcal	25
Πρωτεΐνη	g	0,98
Ολικά λιπίδια	g	0,18
Τέφρα	g	0,66
Υδατάνθρακες	g	5,88
Ολικές διαιτητικές ίνες	g	3
Ολικά σάκχαρα	g	3,53
Σακχαρόζη	g	0,26
Γλυκόζη	g	1,58
Φρουκτόζη	g	0,098
Λακτόζη	g	0,00
Μαλτόζη	g	0,00
Γαλακτόζη	g	0,00
Άμυλο	g	0,00

(USDA, 2014)

Η *S.Melongena* ανήκει στην οικογένεια των *Solanaceae*, και στο γένος *Selaneae*, το οποίο περιλαμβάνει ορισμένα καλλιεργήσιμα είδη συμπεριλαμβανομένου της πιπεριάς, της ντομάτας και της πατάτας (Fragy et al., 2007).

Ο καρπός μπορεί να καταναλωθεί φρέσκος ή μαγειρεμένος. Στην Νοτιοανατολική Ασία φέτες ωμού καρπού τρώγονται σε σαλάτες λαχανικών. Τις περισσότερες φορές οι καρποί τρώγονται ψητοί, τηγανητοί ή στον ατμό, ή βρασμένοι με άλλα λαχανικά, κρέας ή ψάρι. Ο καρπός μαζί με την φλούδα μπορεί να ψηθεί μέχρι να μαυρίσει, να αφαιρεθεί ο πολτός και αναμιχθεί με άλλα συστατικά, όπως το λεμόνι, το ταχίνι και το σκόρδο στην ελληνική μελιτζανοσαλάτα. Επίσης οι καρποί μπαίνουν σε ξύδι και γίνονται τουρσί στην δυτική Ασία ή γλυκό μαρμελάδα (Τουρκία, Ελλάδα). Ο καρπός μπορεί να διατηρηθεί με κονσερβοποίηση, λυοφιλίωση ή με ξήρανση με αέρα (Lim, 2013).

2.2.4 Καρότο

Η πρώτη αναφορά για την καλλιέργεια καρότων (Σχήμα 5) έγινε τον 10^ο αιώνα στο Αφγανιστάν και στο Ιράν. Από εκεί η καλλιέργεια τους εξαπλώθηκε σε όλη την Ασία και την Ευρώπη (Bradeen & Simon, 2007).



Σχήμα 5: Καρότο (*Daucus carota L.*)

Το καρότο (*D.carota L.*) ανήκει στην οικογένεια *Apiaceae* του γένους *Daucus*. (Bradeen & Simon, 2007)

Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης για τα καρότα είναι μεταξύ 15-20°C. Τα καρότα είναι μια σημαντική πηγή διαιτητικών θρεπτικών ουσιών συμπεριλαμβανομένων των καροτενοειδών, ανθοκυανινών και άλλων φλαβονοειδών. Η σύσταση των καρότων φαίνεται στον Πίνακα 4. Τα καρότα μπορούν να καταναλωθούν ωμά, βραστά, τηγανητά και στον ατμό (Punja et al., 2007).

Πίνακας 4: Χημική σύσταση ωμού καρότου

Συστατικό	Μονάδα	Αξία ανά 100 g
Νερό	g	88,29
Ενέργεια	kcal	41
Πρωτεΐνη	g	0,93
Ολικά λιπίδια	g	0,24
Τέφρα	g	0,97
Υδατάνθρακες	g	9,58
Ολικές διαιτητικές ίνες	g	2,8
Ολικά σάκχαρα	g	4,74
Σακχαρόζη	g	3,59
Γλυκόζη	g	0,59
Φρουκτόζη	g	0,55
Λακτόζη	g	0,00
Μαλτόζη	g	0,00
Γαλακτόζη	g	0,00
Άμυλο	g	1,43

(USDA, 2014)

2.2.5 Ηλιέλαιο

Ο ηλίανθος (*Helianthus annuus L.*), ένα από τα πιο αρχαία είδη ελαιούχων σπόρων στη Βόρεια Αμερική, ανήκει στην οικογένεια *Compositae* του γένους *Helianthus*. Η καλλιέργεια του χρονολογείται πριν το 3000 π.Χ. Ο ηλίανθος εισήχθη στην Ευρώπη από τους ισπανούς εξερευνητές στις αρχές του 1500 μ.Χ. Γύρω στο 18^ο αιώνα, οι σπόροι του ηλίανθου χρησιμοποιήθηκαν ως ελαιούχοι σπόροι για την εξαγωγή του ηλιέλαιου (Grompone, 2005).

Το ηλιέλαιο, όπως και τα περισσότερα φυτικά έλαια, αποτελείται κυρίως από τριακυλογλυκερόλες (98-99%) και από μικρά κλάσματα φωσφολιπιδίων, τοκοφερολών, στερολών και κηρών (τα κλάσματα αυτά συνήθως αναφέρονται ως «ασαπωνοποίητο κλάσμα») (Grompone, 2005).

Λόγω της ανάλαφρης γεύσης του, της σχετικά υψηλής οξειδωτικής του σταθερότητας και του χρυσοκίτρινου χρώματος του, το ηλιέλαιο βρίσκει πολλές εφαρμογές τόσο σε οικιακό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο. Σε χώρες όπου το ηλιέλαιο είναι σύνηθες, χρησιμοποιείται κυρίως ως λάδι στις σαλάτες και ως μαγειρικό έλαιο. Στην βιομηχανία το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται ως έλαιο τηγανίσματος καθώς και στην παραγωγή μαγιονέζας και άλλων σαλτών (Grompone, 2005).

2.3 Μεταβολές που συμβαίνουν στα τρόφιμα κατά το τηγάνισμα

2.3.1 Γενικά

Από την άποψη της μηχανικής, το βαθύ τηγάνισμα μπορεί να οριστεί ως μια διεργασία όπου φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας συμβαίνουν ταυτόχρονα. Η θερμότητα μεταφέρεται από το μέσο τηγανίσματος στην επιφάνεια του τροφίμου, η οποία στην συνέχεια εισέρχεται εντός του τροφίμου. Η μεταφορά μάζας χαρακτηρίζεται από την απώλεια νερού από το τρόφιμο, ως υδρατμός και την μετακίνηση του ελαίου εντός του τροφίμου (Bouchon, 2009).

Κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος ένας μεγάλος αριθμός φυσικών και χημικών φαινομένων συμβαίνουν μέσα στο τρόφιμο:

- Φαινόμενα μεταφοράς συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς θερμότητας, της αποβολής του ύδατος, της ανταλλαγής λίπους, της απώλειας μάζας, του σχηματισμού φυσαλίδων στο τρόφιμο κ.ά.
- Μηχανικές παραμορφώσεις όπως η συρρίκνωση, διόγκωση, διάνοιξη της μάζας, δημιουργία πορώδους, επιφανειακής τραχύτητας κ.α.
- Αντιδράσεις, όπως αντιδράσεις Maillard, μετουσίωση των πρωτεϊνών κ.α.
- Φυσικοχημικές αλλαγές, όπως ζελατινοποίηση, αναδιάταξη και υαλώδης μετάπτωση των υδατανθράκων, πρωτεϊνών κ.α. (Vitrac et al., 2000).

Από τις μεταβολές αυτές προκύπτει ένα τηγανισμένο προϊόν στο οποίο μπορούν να οριστούν δύο χαρακτηριστικές ζώνες:

1. την αφυδατωμένη επιφάνεια, όπου λαμβάνουν χώρα οι κύριες μεταβολές και
2. το εσωτερικό ή ο πυρήνας όπου η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 100°C (Dobarganes et al., 2000).

2.3.2 Αποβολή υγρασίας

Η πρώτη φάση της διαδικασίας του τηγανίσματος είναι η μεταφορά της υγρασίας. Αμέσως μόλις το τρόφιμο βυθιστεί στο καυτό έλαιο πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας από το μέσο τηγανίσματος στην επιφάνεια του τροφίμου. Ως αποτέλεσμα, το νερό από την εξωτερική επιφάνεια του τροφίμου εξατμίζεται και διαφεύγει εντός του μέσου τηγανίσματος. Αυτή η αφυδάτωση της επιφάνειας αναγκάζει το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του τροφίμου να κινηθεί προς την εξωτερική επιφάνεια. Στην επιφάνεια του τροφίμου, το νερό απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το έλαιο που περιβάλλει το τρόφιμο για να σχηματίσει ατμό (Paul et al., 1997). Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τροφίμου περιορίζεται σε τιμές γύρω από το σημείο βρασμού του νερού (Bouchon, 2009). Επιπλέον, ο σχηματισμός του ατμού στην επιφάνεια του τροφίμου εμποδίζει το έλαιο από το να εισέρθει στο εσωτερικό του. Έτσι το τρόφιμο δεν καίγεται ούτε μαυρίζει σε αυτό το στάδιο (Paul et al., 1997). Καθώς το τηγάνισμα προχωράει, ο ρυθμός

απώλειας του νερού μειώνεται, οδηγώντας προς το τελικό σημείο φυσαλίδας, το οποίο είναι, όταν η διαφυγή του νερού σταματάει (Bouchon, 2009).

Η μείωση της περιεκτικότητας του νερού στο προϊόν τηγανίσματος μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαφορετικές περιόδους ανάλογα με την θερμοκρασία στο κέντρο του:

Στάδιο 1: Αρχική θέρμανση μέχρι το σημείο βρασμού του ελεύθερου νερού, σε συνδυασμό με έντονο επιφανειακό βρασμό.

Στάδιο 2: Σταθεροποίηση της θερμοκρασίας κοντά στο σημείο βρασμού. Κατά το στάδιο αυτό το μεγαλύτερο μέρος του «ελεύθερου» ή του «τριχοειδούς» νερού εξατμίζεται.

Στάδιο 3: Αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού μέχρι τη θερμοκρασία του ελαίου τηγανίσματος, με χαμηλό ρυθμό ξήρανσης.

Τελικά, όταν το υλικό που τηγανίζεται φθάσει την θερμοκρασία του ελαίου τηγανίσματος, δεν υπάρχει κάποια κινητήρια δύναμη για την περαιτέρω εξάτμιση και λαμβάνουν χώρα μόνο οι αντιδράσεις που ενεργοποιούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες. Το τηγάνισμα των τροφίμων συνήθως δεν φτάνει σε αυτό το τελευταίο στάδιο (Vitrac et al., 2000).

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του ελαίου έχει αρνητική επίδραση στην περιεχόμενη υγρασία των τηγανιτών πατατών. Καθώς η θερμοκρασία τηγανίσματος αυξάνεται, η περιεκτικότητα σε υγρασία για το ίδιο χρόνο τηγανίσματος μειώνεται επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την υψηλότερη κινητική ενέργεια των μορίων του νερού που οδηγεί σε πιο ταχεία απώλεια υγρασίας υπό μορφή ατμού, η οποία τελικά μειώνει την περιεκτικότητα σε υγρασία του προϊόντος (Farinu and Baik, 2006).

2.3.3 Απορρόφηση ελαίου

2.3.3.1 Γενικά

Η μεταφορά μάζας κατά το τηγάνισμα δεν χαρακτηρίζεται μόνο από την κίνηση του νερού υπό μορφή ατμού από το τρόφιμο μέσα στο λάδι, αλλά και από την μεταφορά του ελαίου στο τρόφιμο. Το τηγάνισμα είναι μια διαδικασία αφυδάτωσης, όπου η διαφυγή του νερού αφήνει κενούς χώρους εντός της δομής του κρούστας, η

οποία με την σειρά της καθορίζει τον διαθέσιμο όγκο για την απορρόφηση του ελαίου (Bouchon, 2009).

Η πρόσληψη του ελαίου είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ελαίου και του τροφίμου που υφίστανται μεγάλο αριθμό φυσικών, χημικών και δομικών μεταβολών κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος (Ziaiiifar et al., 2008).

Η μετακίνηση του ελαίου εντός του τροφίμου του προσδίδει θρεπτικά συστατικά και γεύσεις. Το έλαιο τηγανίσματος έχει την ιδιότητα να είναι ένα μέσο μεταφοράς της θερμότητας καθώς και ένα συστατικό του τελικού προϊόντος το οποίο αντιπροσωπεύει μέχρι και το 40% της συνολικής μάζας σε προϊόντας όπως τα τσιπς (Ziaiiifar et al., 2008).

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η πρόσληψη του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος με εμβάπτιση περιορίζεται στην περιοχή της επιφάνειας του τηγανισμένου τροφίμου και σε βάθος λίγων κυττάρων (Bouchon et al., 2001). Οι Keller et al. (1986) παρατήρησαν άμεσα την κατανομή του ελαίου στις τηγανιτές πατάτες με την διεξαγωγή του τηγανίσματος σε χρωματισμένο έλαιο. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το έλαιο τηγανίσματος παραμένει στην πορώδη επιφάνεια της κρούστας των τηγανητών πατατών και ιδιαίτερα στα πρώτα στρώματα των κυττάρων. Οι Moreira & Barrufet (1996) πρόσθεσαν με τη χρήση τομογράφου ότι το έλαιο συγκεντρώνεται γύρω από τις άκρες και τις διογκωμένες περιοχές. Οι Vitrac et al. (2000) επιβεβαίωσαν την ύπαρξη δυο χωριστών περιοχών: μιας κεντρικής περιοχής κορεσμένης με νερό και μια ξηρής ελαιώδης κρούστας. Πιο πρόσφατα, οι Lisinska & Golubowska (2005) χρησιμοποιώντας το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης παρακολούθησαν την δομική μεταμόρφωση των τηγανιτών πατατών και επιβεβαίωσαν ότι το έλαιο κυρίως βρισκόταν στην επιφάνεια των πατατών όπου τα κύτταρα υποβάλλονται στην μέγιστη παραμόρφωση (Ziaiiifar et al., 2008). Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα όλων συγγραφέων ότι η πρόσληψη του ελαίου ουσιαστικά είναι ένα φαινόμενο επιφάνειας που προκύπτει από τον ανταγωνισμό μεταξύ αποστράγγισης και αναρρόφησης μέσα στην πορώδη κρούστα όταν οι τηγανιτές πατάτες απομακρύνονται από το έλαιο και αρχίζουν να ψύχονται (Bouchon et al., 2001).

2.3.3.2 Μηχανισμοί απορρόφησης του ελαίου

Τρεις μηχανισμοί έχουν προταθεί για να εξηγήσουν την πολύπλοκη διαδικασία της πρόσληψης του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος με εμβάπτιση. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η αντικατάσταση του νερού, η επίδραση της φάσης ψύξης και επιφανειοδραστικοί παράγοντες. Ο πρώτος μηχανισμός περιγράφει κυρίως την απορρόφηση του ελαίου λόγω των μεγάλων κενών που δημιουργούνται στα τηγανισμένα τρόφιμα λόγω της εξάτμισης του νερού. Ο δεύτερος μηχανισμός εξηγεί το λόγο για τον οποίο μια σημαντική ποσότητα ελαίου απορροφάται από το τρόφιμο κατά την αφαίρεση του από την φριτέζα. Σε αυτό το σημείο, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του προϊόντος και το ιξώδες του ελαίου παίζουν σημαντικό ρόλο. Ο σχηματισμός των επιφανειοδραστικών παραγόντων δίνει περιορισμένη εξήγηση για την πρόσληψη του ελαίου κατά τη διάρκεια του παρατεταμένου τηγανίσματος (Dana and Saguy, 2006).

1. Αντικατάσταση του νερού

Κατά το τηγάνισμα το έλαιο αντικαθιστά το νερό που έχει εξατμιστεί. Όταν το τρόφιμο εκτίθεται σε θερμοκρασίες τηγανίσματος, το νερό εξατμίζεται ταχέως, η εξωτερική επιφάνεια γίνεται ξηρή και σχηματίζεται μια κρούστα. Η υγρασία εντός του τηγανισμένου προϊόντος μετατρέπεται σε ατμό, δημιουργώντας μια θετική κλίση πίεσης. Ο ατμός δραπετεύει μέσω των ρωγμών, των ανοιγμάτων, των ανοιχτών τροχοειδών αγγείων και των καναλιών στην κυτταρική δομή και στις μεμβράνες. Καθώς η διαδικασία προχωρά, το έλαιο προσκολλάται στο τρόφιμο, δημιουργούνται μεγάλα κενά, ατέλειες στο προϊόν και ρωγμές από τις αλλαγές στη δομή κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος και την εξάτμιση του νερού. Καθώς τα κενά είναι αρκετά μεγάλα, δεν υπάρχει εσωτερική αντίσταση λόγω της θετικής πίεσης των υδρατμών. Ο μηχανισμός αυτός θα μπορούσε να αποτελεί μια πιθανή εξήγηση για την άμεση σχέση που παρατηρήθηκε μεταξύ της απώλειας της υγρασίας και της πρόσληψης του ελαίου. Το έλαιο που εισέρχεται στα κενά που άφησε η εξάτμιση του νερού θα μπορούσε να διαδραματίσει ένα διπλό ρόλο, καθώς βοηθά στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας εμποδίζοντας την συρρίκνωση και την κατάρρευση. Κατά συνέπεια, η πρόσληψη του ελαίου μπορεί επίσης να παίζει ένα ρόλο στην απώλεια της υγρασίας. Ωστόσο, ο μηχανισμός αυτός προσφέρει μόνο μερική εξήγηση για την

πρόσληψη του ελαίου, δεδομένου ότι αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η απορρόφηση του ελαίου εμφανίζεται κυρίως κατά την φάση ψύξης (Dana and Saguy, 2006).

2. Επίδραση της φάσης ψύξης

Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι, ακόμη και αν οι αντίθετες ροές των υδρατμών και του ελαίου σχετίζονται μεταξύ τους, δεν είναι συγχρονισμένες και ότι το έλαιο απορροφάται κυρίως κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης (Bouchon and Pyle, 2005).

Οι Gamble et al. (1987) ήταν οι πρώτοι που αρχικά εξήγησαν το μηχανισμό απορρόφησης του ελαίου. Πρότειναν ότι το περισσότερο έλαιο εισέρχεται εντός του τροφίμου, όταν αυτό αφαιρείται από την φριτέζα λόγω της επίδρασης του κενού που προήλθε από τη συμπύκνωση του ατμού (Bouchon et al., 2003).

Οι Ufheil & Escher (1996) επιβεβαίωσαν πειραματικά, χρησιμοποιώντας μια θερμοανθεκτική και λιποδιαλυτική χρωστική ουσία, ότι το μεγαλύτερο μέρος του ελαίου απορροφάται όταν το προϊόν απομακρύνεται από το λουτρό του ελαίου και πρότειναν ότι η πρόσληψη του ελαίου είναι κυρίως ένα επιφανειακό φαινόμενο, που περιλαμβάνει μια ισορροπία μεταξύ πρόσφυσης και αποστράγγισης του ελαίου κατά την απομάκρυνση του τροφίμου από το έλαιο (Bouchon and Pyle, 2005).

3. Επιφανειοδραστικοί παράγοντες

Καθώς η διαδικασία του τηγανίσματος προχωρά, το έλαιο υποβαθμίζεται και μετατρέπεται από ένα ουσιαστικά καθαρό μείγμα τριγλυκεριδίων σε ένα μίγμα εκατοντάδων ενώσεων. Η εξάτμιση του νερού από το τρόφιμο κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος προκαλεί υδρολυτικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τη διάσπαση των δεσμών μεταξύ γλυκερίνης και λιπαρών οξέων. Η υψηλή θερμοκρασία τηγανίσματος επιταχύνει την υδρόλυση και στην συνέχεια το σχηματισμό διγλυκεριδίων, μονογλυκεριδίων, ελεύθερων λιπαρών οξέων και γλυκερόλης. Τα μόνο και διγλυκερίδια είναι επιφανειοδραστικές ουσίες και πολικές ενώσεις που αυξάνουν την τάση για αφρισμό του ελαίου τηγανίσματος. Ο αφρός εγκλωβίζει φυσαλίδες ατμού οι οποίες απελευθερώνονται από το τρόφιμο και έτσι επιταχύνονται περαιτέρω οι υδρολυτικές αντιδράσεις. Μερικά από τα προϊόντα αποικοδόμησης μειώνουν την διεπιφανειακή τάση μεταξύ του ελαίου και του τροφίμου, δρουν ως παράγοντες διαβροχής και θεωρούνται επίσης επιφανειοδραστικοί παράγοντες. Ο σχηματισμός τους αυξάνει εκ νέου την επαφή μεταξύ του τροφίμου και του ελαίου

τηγανίσματος, με αποτέλεσμα την υπερβολική απορρόφηση. Ο σχηματισμός επιφανειοδραστικών παραγόντων επηρεάζει επίσης τη μεταφορά θερμότητας στη διεπιφάνεια ελαίου-τροφίμου και μειώνει την επιφανειακή τάση μεταξύ των δύο μη αναμίξιμων υλικών. Σύμφωνα με την «επιφανειοδραστική θεωρία του τηγανίσματος» τα τασιενεργά είναι υπεύθυνα για τις επιφανειακές και εσωτερικές διαφορές στην ποιότητα των τηγανιτών τροφίμων που προκαλείται από την γήρανση του ελαίου. Καθώς ο χρόνος επαφής μεταξύ του τροφίμου και του ελαίου τηγανίσματος αυξάνει, περισσότερη θερμότητα μεταφέρεται από το έλαιο τηγανίσματος στο τρόφιμο, προκαλώντας υψηλότερη αφυδάτωση στην επιφάνεια και τη μετακίνηση του νερού από τον πυρήνα στο εξωτερικό του τηγανισμένου τροφίμου. Έτσι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις επιφανειοδραστικών ουσιών παράγουν προϊόντα γεμάτα με έλαιο που είναι υπερ-μαγειρεμένα εξωτερικά και υπο-μαγειρεμένα εσωτερικά (Dana and Saguy, 2006).

Με βάση τα δεδομένα προηγούμενων μελετών πάνω στην απορρόφηση του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος κυλίνδρων πατάτας σε θερμοκρασίες 155°C, 170°C και 185°C, οι Bouchon et al. (2003) εξήγησαν ότι μπορούν να χαρακτηριστούν τρία διαφορετικά κλάσματα ελαίου ως συνέπεια των διαφόρων μηχανισμών απορρόφησης: 1) το δομικό έλαιο, το οποίο αντιπροσωπεύει την ποσότητα του ελαίου που απορροφάται κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, 2) το έλαιο που διαπερνά την επιφάνεια, το οποίο αντιπροσωπεύει την ποσότητα του ελαίου που αναρροφήθηκε εντός του τροφίμου κατά τη διάρκεια της ψύξης μετά την απομάκρυνση από την φριτέζα και 3) το επιφανειακό έλαιο, το οποίο αποτελεί το έλαιο που παρέμεινε στην επιφάνεια (Bouchon et al., 2003).

2.3.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του ελαίου

Έχει γίνει πολλή έρευνα προκειμένου να εξεταστούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση του ελαίου κατά το τηγάνισμα και πολλές εμπειρικές μελέτες έχουν συσχετίσει τις μετρήσεις της απορρόφησης του ελαίου με τη μέθοδο και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Σύμφωνα με τους μηχανισμούς απορρόφησης του ελαίου που εξηγήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, ορισμένοι παράγοντες που μπορεί να σχετίζονται με την ποσότητα του ελαίου που απορροφάται θα παρουσιαστούν τώρα (Bouchon, 2009).

1. Περιεχόμενη υγρασία

Η ποσότητα του ελαίου που απορροφάται έχει αποδειχθεί ότι είναι ευθέως ανάλογη προς την ποσότητα υγρασίας που χάνεται. Αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι υψηλές αρχικές συγκεντρώσεις σε υγρασία έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη πρόσληψη του ελαίου, ωστόσο η απορρόφηση του ελαίου φαίνεται να έχει μεγαλύτερη συσχέτιση με την ποσότητα της υγρασίας που χάνεται από ότι με την αρχική περιεκτικότητα του τροφίμου σε υγρασία. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, είναι επιβεβαιωμένο ότι το έλαιο που απορροφάται θα καταλάβει τον κενό χώρο που δημιουργείται από την απομάκρυνση του νερού, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει το μέγιστο διαθέσιμο όγκο για την απορρόφηση του ελαίου. Η αποτελεσματική μεταφορά των υδρατμών μέσω της σχηματιζόμενης κρούστας είναι, ως εκ τούτου, μία σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη διαφυγή του νερού και πιθανώς την πρόσληψη του ελαίου, και όπως εξηγείται από τους Saguy et al. (1998), ο ρυθμός διάχυσης επηρεάζεται αισθητά από τις μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος και της κρούστας (Bouchon, 2009).

2. Μικροδομή της κρούστας

Καθώς η υγρασία μετατρέπεται σε ατμό και βγαίνει από το προϊόν, αφήνει πίσω της ένα δικτυωτό τούνελ σαν σφουγγάρι, το οποίο αποτελεί την δεξαμενή του ελαίου. Η μικροδομή της περιοχής της κρούστας η οποία σχηματίζεται καθώς το τρόφιμο μαγειρεύεται στο έλαιο τηγανίσματος, έχει επισημανθεί ως ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την τελική πρόσληψη του ελαίου στο προϊόν. Στην πραγματικότητα, η ανάπτυξη των πόρων και η κατανομή του μεγέθους των πόρων έχουν βρεθεί να επηρεάζουν άμεσα την απορρόφηση του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος (Bouchon, 2009).

3. Μέγεθος, σχήμα και επιφάνεια του προϊόντος

Καθώς η πρόσληψη του ελαίου είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο, οι ειδικές διαστάσεις του τροφίμου θα καθορίζουν την απορρόφηση του ελαίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η απορρόφηση του ελαίου αυξάνεται σημαντικά όταν το πάχος του προϊόντος μειώνεται και η επιφάνεια του προϊόντος αυξάνεται. Για παράδειγμα οι τηγανιτές πατάτες απορροφούν λιγότερο έλαιο από τα τσιπς, λόγω της μικρότερης αναλογίας επιφάνειας/όγκου (Ziaifar et al., 2008). Έχει βρεθεί μια γραμμική σχέση μεταξύ της επιφάνειας και της ποσότητας πρόσληψης του ελαίου

(Miranda and Aguilera., 2006). Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του ελαίου διεισδύει στο τρόφιμο μέσω των πόρων της κρούστας, οι δομικές ιδιότητες του εξωτερικού στρώματος του τροφίμου είναι σημαντικές. Πράγματι, το σπάσιμο των κυττάρων κατά την κοπή είναι μια προνομιακή τοποθεσία για την απορρόφηση του ελαίου. Η χρήση καλής ποιότητας λεπίδων για την κοπή μπορεί συνεπώς να μειώσει την επιφανειακή τραχύτητα του προϊόντος και συνεπώς το εμβαδόν της επιφάνειας, με αποτέλεσμα την χαμηλότερη απορρόφηση ελαίου (Ziaifar et al., 2008).

4.Θερμοκρασία και χρόνος τηγανίσματος

Η επίδραση της θερμοκρασίας τηγανίσματος στην πρόσληψη του ελαίου είναι ασαφής (Miranda and Aguilera., 2006). Έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία δεν έχει σημαντική επίδραση μεταξύ των 150°C και 180°C, αν και, σε γενικές γραμμές όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερη είναι η απορρόφηση του ελαίου στην επιφάνεια και αντιθέτως, μπορεί να προκύψει περίσσεια πρόσληψη ελαίου σε χαμηλές θερμοκρασίες τηγανίσματος (Dobarganes et al., 2000). Μερικοί συγγραφείς αναφέρουν ότι το τηγάνισμα σε υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί σε μείωση της απορρόφησης του ελαίου, πιθανώς λόγω της μείωσης του χρόνου τηγανίσματος που είναι απαραίτητος, στο σχηματισμό μίας καλύτερα αναπτυσσόμενης κρούστας η οποία θα ενεργεί ως εμπόδιο για την πρόσληψη του ελαίου, ή με την μείωση του πορώδους της κρούστας (Miranda and Aguilera., 2006). Γενικά η απορρόφηση του ελαίου αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου τηγανίσματος (Paul et al., 1997). Υπάρχει αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών στο τηγάνισμα, συνεπώς όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερος θα είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να ληφθεί ένα τηγανισμένο προϊόν ίδιας ποιότητας (Dobarganes et al., 2000).

5.Τύπος και σύνθεση του ελαίου

Κατά την αποικοδόμηση του ελαίου παράγονται επιφανειοδραστικές ουσίες οι οποίες αυξάνουν την απορρόφηση του. Τα συστατικά των τροφίμων μεταφέρονται μέσα στο έλαιο, διασπώνται σε αυτό και σε συνδυασμό με την απορρόφηση του οξυγόνου στη διεπιφάνεια ελαίου-αέρα συμβάλλουν στην μετατροπή των τριγλυκεριδίων του ελαίου σε ένα μίγμα εκατοντάδων ενώσεων. Τα συστατικά αυτά αυξάνουν την μεταφορά θερμότητας και επίσης μειώνουν την επιφανειακή τάση μεταξύ τροφίμου και ελαίου (Bouchon, 2009). Το ιξώδες του ελαίου τηγανίσματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τον συνολικό όγκο του ελαίου που

προσκολλάται στις μεγάλες κοιλότητες της κρούστα του τροφίμου. Το υψηλό ιξώδες παρέχει μεγαλύτερο όγκο ελαίου στα τηγανιτά τρόφιμα (Paul et al., 1997). Το αρχικό ιξώδες εξαρτάται όχι μόνο από τον τύπο του ελαίου, αλλά επίσης και από τη θερμοκρασία και την ποιότητα του. Το ιξώδες του ελαίου μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας (Ziaifar et al., 2008).

1. Το πορώδες του προϊόντος

Το αρχικό πορώδες ενός προϊόντος είναι ευθέως ανάλογο προς την τελική απορρόφηση του ελαίου αφότου ένα πορώδες προϊόν έχει περισσότερα κενά που θα μπορούσαν να γεμίσουν με έλαιο. Κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, τόσο το πορώδες όσο και η απορρόφηση του ελαίου αυξάνονται και είναι αλληλοεξαρτούμενα (Farinu and Baik, 2006).

2.3.4 Μικροδομή της κρούστας

Το τηγάνισμα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει την ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας μεταξύ του τροφίμου που τηγανίζεται και του περιβάλλοντος του ελαίου. Τα παραπάνω φαινόμενα έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μίας εξωτερικής λεπτής στιβάδας με διαφορετικά χαρακτηριστικά από το υπόλοιπο του τροφίμου που τηγανίζεται: την κρούστα (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

Η κρούστα των τηγανητών πατατών είναι το αποτέλεσμα πολλών αλλαγών που συμβαίνουν κυρίως σε κυτταρικό και υπο-κυτταρικό επίπεδο στα εξωτερικά στρώματα του τροφίμου, όπου η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 100°C. Αυτές οι χημικές και φυσικές αλλαγές περιλαμβάνουν: δομικές μεταβολές που προκαλούνται όταν το τρόφιμο κόβεται και μια τραχιά επιφάνεια σχηματίζεται με την απελευθέρωση του ενδοκυτταρικού υλικού, την ζελατινοποίηση του αμύλου και την επακόλουθη αφυδάτωση, την μετουσίωση των πρωτεϊνών, την εξάτμιση του νερού και την ταχεία αφυδάτωση των κυττάρων που βρίσκονται στην σχηματιζόμενη κρούστα και την ίδια την πρόσληψη του ελαίου (Dueik and Bouchon, 2011). Οι αλλαγές αυτές ξεκινούν από την εξωτερική επιφάνεια του τροφίμου και διαδίδονται προς τα μέσα καθώς εξελίσσεται το μαγείρεμα (Bouchon et al., 2001).

Η κρούστα δημιουργείται στις περισσότερες διεργασίες τηγανίσματος με εμφύσηση και είναι ένα από τα πιο ευχάριστα χαρακτηριστικά του τηγανισμένου τροφίμου (Krokida et al., 2000).

Αυτό το στρώμα είναι σημαντικό όχι μόνο για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, αλλά και επειδή παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά της θερμότητας και της μάζας κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος καθώς και για την πρόσληψη του ελαίου (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

Οι αλλαγές στην μικροδομή του πυρήνα είναι παρόμοιες με εκείνες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ελαφρύ βρασμού δεδομένου ότι αυτή η εσωτερική δομή περιορίζεται σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού του νερού. Οι κύριες μεταβολές περιλαμβάνουν την ζελατινοποίηση του αμύλου (σε αμυλούχα προϊόντα) μαλακώνοντας τα μεσαία φύλλα (τα οποία είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για την λεγόμενη αλευρώδη υφή) και την μετουσίωση των πρωτεϊνών (Bouchon, 2009).

Από τις πρώτες κιόλας ιστολογικές μελέτες που έγιναν σε τηγανισμένες πατάτες από τους Reeve & Neel (1960) υπάρχουν αρκετές ενδείξεις που δείχνουν ότι, εκτός από την καταστροφή των εξωτερικών στρωμάτων κατά την κοπή του τροφίμου, η πλειοψηφία των εσωτερικών κυττάρων διατηρούν την ακεραιότητά τους μετά το τηγάνισμα και περιέχουν στο εσωτερικό τους αφυδατωμένους άλλα ζελατινοποιημένους κόκκους αμύλου. Παρόμοιες παρατηρήσεις έχουν αναφερθεί και από τους Costa et al. (2001), όταν μελέτησαν τις αλλαγές στην δομή της πατάτας κατά το τηγάνισμα χρησιμοποιώντας την οπτική μικροσκοπία και από τους McDonough et al. (1993), όταν αξιολόγησαν της φυσικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος με εμφύσηση των τσιπς τορτίγιας χρησιμοποιώντας το περιβαλλοντικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Bouchon and Aguilera, 2001).

Οι Aguilera and Gloria (1997), απέδειξαν, με τη χρήση ταχείας κατάψυξης και κρουτομής, ότι τρεις διακριτές μικροδομές υπάρχουν στις τηγανιτές πατάτες: 1) ένα λεπτό εξωτερικό στρώμα (περίπου 250 nm) που σχηματίζεται από τα υπολείμματα των κυτταρικών τοιχωμάτων των κυττάρων που καταστρέφονται κατά την κοπή 2) ένα ενδιάμεσο στρώμα από συρρικνωμένα ακέραια κύτταρα, τα οποία εκτείνονται στο μέτωπο εξάτμισης και 3) ο πυρήνας με πλήρως ενυδατωμένα ανέπαφα κύτταρα που περιέχουν ζελατινοποιημένο άμυλο.

2.4 Έλεγχος παρατηρούμενων μεταβολών κατά την διεργασία

2.4.1 Έλεγχος μεταβολών περιεχόμενης υγρασίας

Οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό της υγρασίας διαφόρων προϊόντων κατατάσσονται σε άμεσες και έμμεσες. Οι άμεσες μέθοδοι καθορίζουν την ποσότητα του νερού στο προϊόν με την απομάκρυνση της υγρασίας. Αυτές συμπεριλαμβάνουν: α) χημικές αντιδράσεις, β) θέρμανση σε φούρνο, γ) απόσταξη, δ) ακτινοβολία μικροκυμάτων και ε) υπέρυθη ακτινοβολία. Οι έμμεσες μέθοδοι απαιτούν την μέτρηση μιας ηλεκτρικής ιδιότητας του προϊόντος, είτε της αντίστασης ή της ηλεκτρικής χωρητικότητας (Moreira et al., 1999).

Η μέθοδος του φούρνου με αέρα είναι η πιο κοινή διαδικασία για τον καθορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Ο χρόνος και η θερμοκρασία στην οποία ένα προϊόν πρέπει να παραμείνει στο φούρνο πρέπει να είναι καθορισμένα προκειμένου να υπάρχει σιγουριά ότι το προϊόν τα έχει χάσει όλα πλην της χημικά δεσμευμένης υγρασίας και μια μικρής ποσότητα πτητικών ουσιών (Moreira et al., 1999).

Μια άλλη μέθοδος ξήρανσης είναι η λυοφιλίωση. Η λυοφιλίωση είναι η μέθοδος ξήρανσης κατά την οποία το προϊόν, μετά από προηγούμενη κατάψυξη, υφίσταται εξάχνωση των παγοκρυστάλλων, δηλαδή την άμεση μετάβαση του νερού από την στερεά κατάσταση στην αέρια. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια: α) την κατάψυξη του προϊόντος β) την εξάχνωση γ) την τελική ξήρανση. Η λυοφιλίωση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Η απομάκρυνση του νερού με εξάχνωση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αφυδατωμένου προϊόντος το οποίο χαρακτηρίζεται από πλούσιο πορώδες σύστημα, είναι ελαφρό και διατηρεί πλήρως το αρχικό του μέγεθος και σχήμα. Επίσης, το προϊόν δεν υφίσταται συρρίκνωση (Μπλούκας, 2004).

2.4.2 Έλεγχος μεταβολών περιεχόμενου ελαίου.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ελαίου που περιέχεται σε ένα τρόφιμο μπορούν να ταξινομηθούν σε: 1) εκχύλιση, 2) διαθλασιμετρία, 3) υδραυλική πίεση 4) NIR (εγγύς υπέρυθρου) φασματοσκοπία (Moreira et al., 1999).

Η εκχύλιση διακρίνεται σε: 1) Απλή εκχύλιση 2) Επαναλαμβανόμενη εκχύλιση. Μέθοδος Soxhlet 3) Εκχύλιση ολικών λιποειδών. Μέθοδος Bligh-Dyer. Η μέθοδος Soxhlet χρησιμοποιείται για την παραλαβή λιπαρών από στερεά δείγματα (Ανδρικόπουλος, 2010).

Η μέθοδος Soxhlet είναι μια απλή σταθμική μέθοδος, στην οποία το λίπος εκχυλίζεται από το προϊόν χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες όπως το χλωροφόρμιο ή τον πετρελαϊκό αιθέρα. Μετά την εξάτμιση του διαλύτη μπορεί να προσδιοριστεί το βάρος του εκχυλισμένου λίπους (Mellema, 2003). Ο αιθέρας και ο πετρελαϊκός αιθέρας είναι οι πιο κοινή διαλύτες εκχύλισης. Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση για την χρήση πετρελαϊκού αιθέρα διότι είναι πιο επιλεκτικός ως προς τα λίπη (Pomeranz and Meloan, 1987).

Η περιεχόμενη υγρασία του τροφίμου είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Η ξήρανση σε αυξημένη θερμοκρασία είναι ανεπιθύμητη διότι ορισμένα λίπη δεσμεύονται από τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες και καθίστανται μη εκχυλίσιμα. Η λυοφιλίωση επηρεάζει ελάχιστα την εκχυλισιμότητα και αυξάνει την επιφάνεια του δείγματος (Pomeranz and Meloan, 1987).

2.4.3 Έλεγχος μεταβολών στην μικροδομή της κρούστας

Η μικροσκοπία (οπτική ή φωτός, ηλεκτρονίων και ατομική μικροσκοπία) και άλλες τεχνικές απεικόνισης (πχ μαγνητική τομογραφία) παράγουν δεδομένα σε μορφή εικόνας. Οι τεχνικές της μικροσκοπίας ποικίλουν ως προς την μέθοδο παραγωγής εικόνας, την ανάλυση και τον τύπο του σήματος αντίχτυσης (Kalab et al., 1995).

Η οπτική και η ηλεκτρονική μικροσκοπία είναι οι δύο πιο συνήθεις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της μικροδομής των τροφίμων (James, 2009).

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) και η ηλεκτρονική μικροσκοπία μετάβασης (TEM) (Kalab et al., 1995). Η SEM χρησιμοποιείται για την παρατήρηση των χαρακτηριστικών της μικροδομής του εσωτερικού και της επιφάνειας της κρούστας. Το σχήμα και το μέγεθος των πόρων της κρούστας και της επιφάνειας καθώς και το μέγεθος των κυττάρων της κρούστας και του πυρήνα καθορίζονται με την ανάλυση

των εικόνων της SEM. Η SEM επίσης παρέχει εικόνα σχετικά με τα φαινόμενα που συμβαίνουν στην κρούστα κατά το τηγάνισμα (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

Πολλά από τα πλεονεκτήματα της SEM έχουν αξιοποιηθεί για την εξέταση της μικροδομής των τροφίμων. Αυτά περιλαμβάνουν σχετικά απλή προετοιμασία του δείγματος, μεγάλη δυνατότητα μεγέθυνσης και μεγάλο βάθος πεδίου. Τα μειονεκτήματα των συμβατικών τεχνικών SEM είναι κυρίως η αδυναμία εξέτασης ενυδατωμένων δειγμάτων χωρίς να αλλάξουν με κάποιο τρόπο (ξήρανση ή κατάψυξη) την κατάσταση τους (James, 2009). Η ξήρανση αποτελεί βασικό βήμα πριν την εφαρμογή της ηλεκτρονική μικροσκοπίας σάρωσης. Σε σχέση με την ξήρανση με αέρα η λυοφιλίωση προκαλεί μικρότερη συρρίκνωση στα τρόφιμα (James, 2009).

Στο SEM το δείγμα που τοποθετείται είναι ξηρό και σαρώνεται από μια δέσμη ηλεκτρονίων που στην συνέχεια κατευθύνεται και εστιάζεται με μαγνητικούς φακούς για τον σχηματισμό της εικόνας (Kalab et al., 1995).

3. Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν:

- Η επίδραση του τηγανίσματος με εμβάπτιση (βαθύ τηγάνισμα) στην περιεχόμενη υγρασία ράβδων πατάτας, κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου.
- Η επίδραση του τηγανίσματος με εμβάπτιση στο περιεχόμενο έλαιο ράβδων πατάτας, κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου.
- Η επίδραση του τηγανίσματος με εμβάπτιση στο βαθμό συρρίκνωσης ράβδων πατάτας, κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου.
- Η επίδραση του τηγανίσματος με εμβάπτιση στην μικροδομή της κρούστας σε ράβδους πατάτας, κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου.

4. Πειραματικά Δεδομένα

4.1 Υλικά, Όργανα και μέθοδοι

4.1.1 Φυτικά τρόφιμα και έλαιο τηγάνισματος.

Οι πατάτες που χρησιμοποιήθηκαν στο τηγάνισμα ήταν ωμές, ποικιλίας Everest και αγοράστηκαν από γνωστό κατάστημα τροφίμων της περιοχής της Κηφισιάς σε συσκευασίες των 2,5kg. Τα κολοκύθια, οι μελιτζάνες και τα καρότα αγοράστηκαν ωμά, φρέσκα από μανάβικο της περιοχής της Σίνδου. Όλα τα φυτικά τρόφιμα αμέσως μετά την αγορά τους τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ψύξης, όπου και διατηρήθηκαν μέχρι την ημέρα διεξαγωγής του τηγανίσματος. Η συντήρηση των δειγμάτων στο θάλαμο ψύξης έγινε σε θερμοκρασία $15,5\pm 2^{\circ}\text{C}$ και σε σχετική υγρασία 95-99,9%. Το έλαιο που χρησιμοποιήθηκε στο τηγάνισμα ήταν ηλιέλαιο και αγοράστηκε επίσης από γνωστό κατάστημα τροφίμων της περιοχής της Κηφισιάς σε συσκευασία των 5L.

4.1.2 Αντιδραστήρια

- Για τον προσδιορισμό της υγρασίας χρησιμοποιήθηκε άμμος θαλάσσης υψηλής καθαρότητας της εταιρίας MERCK.
- Για τον προσδιορισμό του λίπους χρησιμοποιήθηκε πετρελαϊκός αιθέρας (σ.β. $40-65^{\circ}\text{C}$) της εταιρίας PENTA.

4.1.3 Όργανα

- Συσκευή Soxhlet Velp Scientifica SER 148 Solvent Extractor για τον προσδιορισμό του λίπους.
- Φούρνος με αέρα Gallen Kamp OV-160 για τον προσδιορισμό της υγρασίας και του λίπους.
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) τύπου Carl Zeiss, EVO 50 XVP, εξοπλισμένο με λυχνία πυρακτώσεως W για την απεικόνιση της μικροδομής της κρούστας.
- Λυοφιλιοποιητής (freeze drier) CHRIST GAMMA 1-20 LMC για την ξήρανση πριν τον προσδιορισμό του λίπους και της μικροδομής της κρούστας.

- Ηλεκτρονικό παχύμετρο Brown & Sharpe για τον προσδιορισμό του πάχους των φυτικών τροφίμων πριν και μετά το τηγάνισμα (διακριτική ικανότητα $\pm 0,001\text{mm}$).
- Αναλυτικός ζυγός SHIMADZU AW 320 (διακριτική ικανότητα 0,0001g)
- Οικιακή φριτέζα TEFAL UNIVERSALIS 1000 για το τηγάνισμα των φυτικών τροφίμων.

4.1.4 Μεταχείριση δειγμάτων πριν την επεξεργασία.

Πριν το τηγάνισμα τα φυτικά τρόφιμα αποφλοιώθηκαν και τεμαχίστηκαν σε παραλληλεπίπεδα με την βοήθεια κόφτη πατάτας από ανοξείδωτο ατσάλι και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε βρεγμένη πετσέτα τύπου Wettex για την αποφυγή του μαυρίσματος και αφυδάτωσης της εξωτερικής επιφάνειας. Αναλυτικά χρησιμοποιήθηκαν τρεις πατάτες, τρία κολοκύθια, τρεις μελιτζάνες και οχτώ καρότα τα οποία κόπηκαν σε ομοιόμορφες ράβδους πάχους 1cm και μήκους 6cm. Στο τηγάνισμα της πατάτας και της μελιτζάνας χρησιμοποιήθηκαν τρεις ράβδοι από κάθε φυτικό τρόφιμο οι οποίες προηγουμένως ζυγίστηκαν και αντίστοιχα τρεις ράβδοι ίσου βάρους τοποθετήθηκαν σε βρεγμένη πετσέτα τύπου Wettex για την ανάλυση των διαφόρων μεθόδων στα ωμά τρόφιμα. Αντίθετα στο τηγάνισμα του κολοκυθιού και του καρότου χρησιμοποιήθηκαν δύο ράβδοι από κάθε τρόφιμο οι οποίες προηγουμένως ζυγίστηκαν και αντίστοιχα δυο ράβδοι ίσους βάρους τοποθετήθηκαν σε βρεγμένη πετσέτα τύπου Wettex για την ανάλυση των διαφόρων μεθόδων στα νωπά τρόφιμα.

4.1.5 Τηγάνισμα

Το στάδιο του τηγανίσματος πραγματοποιήθηκε σε οικιακή φριτέζα (TEFAL UNIVERSALIS 1000) στην οποία προστέθηκε 2,1L ηλιέλαιο και στην οποία προσαρμόστηκε θερμοστοιχείο 3mm K-type (OMEGA, Stamford, CT, USA) συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή και κάρτα δειγματοληψίας για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του ελαίου. Η καταγραφή των θερμοκρασιών γινόταν με τη χρήση λογισμικού προγράμματος DLOGGER. Η θερμοκρασία του ελαίου στην φριτέζα σταθεροποιούνταν πριν από κάθε τηγάνισμα στους 170°C. Η

προσθήκη των δειγμάτων στη φριτέζα γινόταν πάντα στην θερμοκρασία των 170°C για 5min. Σε κάθε κύκλο τηγανίσματος χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα με το τρόφιμο δύο ή τρεις ράβδοι από κάθε φυτικό τρόφιμο οι οποίες προηγουμένως τοποθετήθηκαν σε δικτυωτά συρμάτινα κλουβάκια ανά μία σε κάθε κλουβί για να αποφευχθεί η επαφή μεταξύ τους . Μετά την ολοκλήρωση του κάθε κύκλου τηγανίσματος τα δείγματα απομακρύνονταν από τα κλουβάκια και αφήνονταν σε δικτυωτό πλέγμα.

4.2 Μέθοδοι ανάλυσης

4.2.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Τρεις ράβδοι από κάθε φυτικό τρόφιμο τεμαχίστηκαν και ομογενοποιήθηκαν σε μπλέντερ και κατόπιν ζυγίστηκαν με ακρίβεια σε τρυβλίο petri στο οποίο προηγουμένως είχε προσαρμοστεί διηθητικό χαρτί, είχε τοποθετηθεί μία μικρή γυάλινη ράβδο και είχε ζυγιστεί με ακρίβεια. Στην συνέχεια στα δείγματα προστέθηκαν 2g άμμου και το μίγμα αναμείχθηκε καλά με τη βοήθεια της γυάλινης ράβδου έτσι ώστε η άμμος να απλωθεί ομοιόμορφα σε όλη της επιφάνεια του τρυβλίου. Στην συνέχεια, τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε φούρνο με αέρα στους 103°C και παρέμειναν εκεί για 27 ώρες, μέχρι δηλαδή την απόκτηση σταθερού βάρους. Μετά το πέρας των 27 ωρών τα τρυβλία μεταφέρθηκαν σε ξηραντήριο, για να κρυσώσουν χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία τους. Ακολούθησε η ακριβής ζύγιση τους σε αναλυτικό ζυγό.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία υπολογίστηκε με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$\%Υγρασία = [(Αρχικό \text{ βάρος} - \text{τελικό βάρος}) / (\text{Αρχικό βάρος})] * 100$$

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε τόσο για τα ωμά όσο και τα τηγανισμένα δείγματα.

4.2.2 Προσδιορισμός ελαίου

Τρεις ράβδοι από κάθε φυτικό τρόφιμο τοποθετήθηκαν σε τρυβλίο petri, στο οποίο προηγουμένως προσαρμόστηκε διηθητικό χαρτί, και ζυγίστηκαν με ακρίβεια. Κατόπιν τοποθετήθηκαν στον καταψύκτη του εργαστηρίου. Στην συνέχεια το κατεψυγμένο δείγματα μεταφέρθηκαν σε συσκευή λυοφιλίωσης με σκοπό την αφυδάτωση τους. Τα λυοφιλοποιημένα πλέον δείγματα αφού προηγουμένως ζυγίστηκαν με ακρίβεια, τεμαχίστηκαν σε μικρά κομμάτια με την βοήθεια μαχαιριού και κατόπιν μεταφέρθηκαν μαζί με το διηθητικό χαρτί στην φύσιγγα εκχύλισης της συσκευής. Στα ποτήρια εκχύλισης της συσκευής προστέθηκαν πέτρες βρασμού και κατόπιν ζυγίστηκαν με ακρίβεια σε ζυγό ακριβείας. Στην συνέχεια προστέθηκαν 80ml πετρελαϊκού αιθέρα σε κάθε ποτήρι και τα ποτήρια προσαρμόστηκαν στην συσκευή με τη βοήθεια φλαντζών. Κατόπιν έγινε η ρύθμιση της συσκευής στην θερμοκρασία των 110°C και για χρόνο 210min (60 min για την εμβάπτιση, 120 min για την έκπλυση και 30 min για την ανάκτηση) και η συσκευή τέθηκε σε λειτουργία. Μετά το τέλος της εκχύλισης το ποτήρια μεταφέρθηκαν σε φούρνο με αέρα στους 103°C για 2 ώρες για την πλήρη απομάκρυνση του διαλύτη. Μετά το πέρας των δύο ωρών τα ποτήρια μεταφέρθηκαν σε ξηραντήριο, για να κρυσώσουν χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία τους και ακολούθως ζυγίστηκαν.

Η περιεκτικότητα σε λίπος υπολογίστηκε με τη βοήθεια των παρακάτω τύπων:

- Λίπος επί υγρής βάσης (g/100g)= [(Διαφορά βαρών ελαίου/Βάρος νωπού τροφίμου)*100]
- Λίπος επί ξηρής βάσης (g/100g)=[(Διαφορά βαρών ελαίου/Βάρος ξηρού τροφίμου)*100]

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε τόσο για τα ωμά όσο και τα τηγανισμένα δείγματα.

4.2.3 Προσδιορισμός του βαθμού συρρίκνωσης

Ο βαθμός συρρίκνωσης των τροφίμων προσδιορίστηκε από την διαφορά του πάχους τους πριν και μετά την διεργασία του τηγάνισματος με τη βοήθεια παχυμέτρου. Από κάθε τρόφιμο χρησιμοποιήθηκε μία ράβδος. Οι μετρήσεις πάρθηκαν από διάφορα σημεία της ράβδου πριν και μετά το τηγάνισμα.

4.2.4 Προσδιορισμός της μικροδομής της κρούστας

Η μικροδομή της κρούστας των δειγμάτων προσδιορίστηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) τύπου Carl Zeiss, EVO 50 XVP, εξοπλισμένο με λυχνία πυρακτώσεως W και λειτούργησε με μεταβλητή πίεση 30 Pa.

Δύο ράβδοι από κάθε φυτικό τρόφιμο τοποθετήθηκαν σε τρυβλίο petri στο οποίο προηγουμένως προσαρμόστηκε διηθητικό χαρτί και κατόπιν τοποθετήθηκαν στο καταψύκτη του εργαστηρίου. Την επόμενη μέρα τα δείγματα βγήκαν από το καταψύκτη και με την βοήθεια ξυραφιού αφαιρέθηκαν κομμάτια από το πορώδες της κρούστας καθώς και εγκάρσιες διατομές των δειγμάτων. Κατόπιν τα δείγματα μεταφέρθηκαν για αφυδάτωση σε συσκευή λυοφιλίωσης βήμα απαραίτητο πριν την τοποθέτηση των δειγμάτων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην συσκευή.

5. Αποτελέσματα

5.1 Προκαταρκτικές δοκιμές

5.1.1 Δοκιμές τηγανίσματος

Η απορρόφηση του ελαίου καθώς και η απομάκρυνση της υγρασίας από το τρόφιμο κατά το τηγάνισμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι ο χρόνος και η θερμοκρασία τηγανίσματος καθώς και η ποσότητα του τροφίμου που τοποθετείται στην φριτέζα. Για το λόγο αυτό προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες τηγανίσματος, έγιναν κάποιες προκαταρκτικές δοκιμές. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν πατάτες οι οποίες προηγουμένως κόπηκαν σε ράβδους πάχους 1cm και μήκους 6cm με την βοήθεια κόφτη πατάτας. Στην φριτέζα τοποθετήθηκαν 2,1L ηλιέλαιου και προσαρμόστηκε θερμοστοιχείο συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή και κάρτα δειγματοληψίας για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του ελαίου. Η μέγιστη επιθυμητή πτώση της θερμοκρασίας του ελαίου ήταν 5°C. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών φαίνονται στον Πίνακα 5.

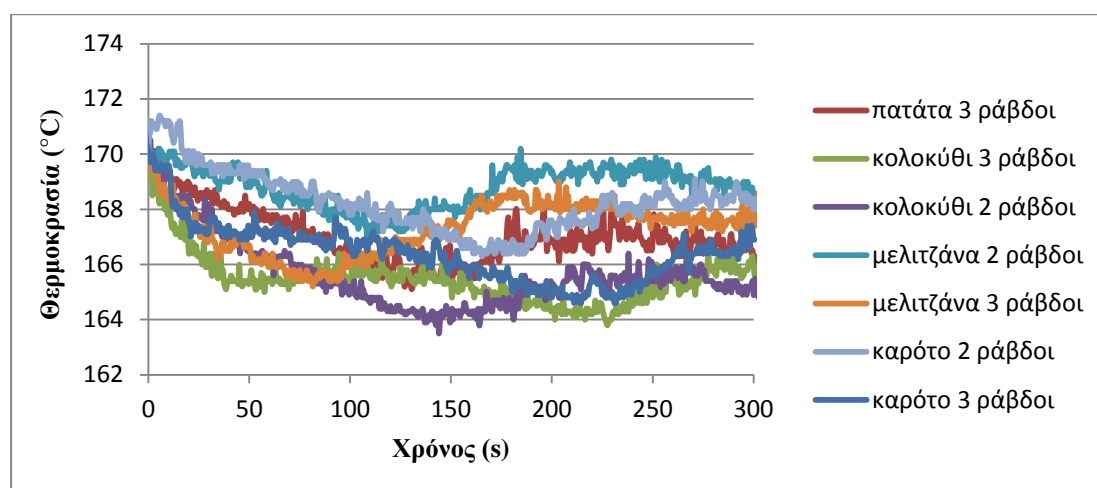
Πίνακας 5: Μεταβολή της θερμοκρασίας τηγανίσματος σε σχέση με τον αριθμό των ράβδων πατάτας που τοποθετήθηκαν στην φριτέζα και το χρόνο τηγανίσματος.

Ποσότητα τροφίμου (ράβδοι)	Χρόνος τηγανίσματος (min)	Αρχική θερμοκρασία τηγανίσματος (°C)	Τελική θερμοκρασία τηγανίσματος (°C)
10	4	170	162
6	4	170	164
3	4	170	166
4	4	170	166
5	4	170	166
5	4,5	170	165,5
5	5	170	165
3	5	170	165

Μετά από κάθε τηγάνισμα τα δείγματα δοκιμάστηκαν προκειμένου να διαπιστωθεί αν είχαν τηγανιστεί επαρκώς. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 5 σε συνδυασμό με την δοκιμή που έγινε μετά το τηγάνισμα οι πλέον κατάλληλες συνθήκες τηγανίσματος είναι τα 5 min έχοντας τοποθετήσει στην φριτέζα τρεις ράβδους πατάτας. Όπως αναφέρουν οι Costa et al. (2001) ο χρόνος και η

θερμοκρασία τηγανίσματος των τηγανιτών πατατών έχουν επιλεγθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είμαστε σίγουροι ότι το κέντρο τους είναι μαγειρεμένο και η επιφάνεια τους έχει ελκυστική υφή και χρώμα.

Στην συνέχεια κόπηκαν ράβδοι κολοκυθιού, μελιτζάνας και καρότου ίδιων διαστάσεων με τις ράβδους πατάτας. Για κάθε τρόφιμο έγιναν δύο τηγανίσματα των 5min. Ένα τηγάνισμα με τρεις ράβδους τροφίμου και ένα με δύο ράβδους προκειμένου να διαπιστωθεί με ποιόν από τους δύο τρόπους το θερμοκρασιακό προφίλ του ελαίου παρέμεινε το ίδιο με εκείνο που πήραμε κατά το τηγάνισμα των τριών ράβδων πατάτας και επομένως θα χρησιμοποιούταν στα πειράματα έτσι ώστε να έχουμε παρόμοιο θερμοκρασιακό προφίλ. Το θερμοκρασιακό προφίλ του ελαίου κατά το τηγάνισμα των τροφίμων φαίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6: Μεταβολές στην θερμοκρασία του ελαίου κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος των φυτικών τροφίμων

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το Σχήμα 6 παρόμοιο θερμοκρασιακό προφίλ με αυτό των 3 ράβδων πατάτας παρουσίασαν οι 2 ράβδοι κολοκυθιού, οι 3 ράβδοι μελιτζάνας και οι 2 ράβδοι καρότου.

5.1.2 Δοκιμές για τον προσδιορισμό χρόνου και της μεθόδου που απαιτείται για την ξήρανση των τροφίμων

Προκειμένου να διαπιστωθεί ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας από τα φυτικά τρόφιμα έγιναν προκαταρκτικές δοκιμές. Για τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν πατάτες. Η μεταχείριση των δειγμάτων πριν το τηγάνισμα καθώς και η διεργασία του τηγανίσματος έγινε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως στην Ενότητα 4.1.4 και 4.1.5 αντίστοιχα. Δηλαδή, τρεις ράβδοι πατάτας πάχους 1cm και μήκους 6cm τηγανίστηκαν σε φριτέζα που περιείχε 2,1L ηλιέλαιου στους 170°C για 5min. Στην συνέχεια οι ράβδοι πατάτας τεμαχίστηκαν και ομογενοποιήθηκαν σε μπλέντερ και κατόπιν ζυγίστηκαν με ακρίβεια σε τρυβλίο petri στο οποίο προηγουμένως είχε προσαρμοστεί διηθητικό χαρτί και είχε ζυγιστεί με ακρίβεια. Ακολούθησε η τοποθέτηση των τρυβλίων σε φούρνο με αέρα στους 103°C όπου παρέμειναν για 24ώρες. Μετά το πέρας των 24ωρών τα τρυβλία μεταφέρθηκαν σε ξηραντήριο, για να κρυσώσουν χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία τους και κατόπιν ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό. Στην συνέχεια τα τρυβλία τοποθετήθηκαν εκ νέου στο φούρνο για άλλες 3ώρες και ακολούθησε η ψύξη τους στο ξηραντήριο και η ζύγιση τους. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για άλλες 16ώρες. Τα αποτελέσματα των ζυγίσεων καθώς και υπολογισμός της υγρασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Μεταβολές στο βάρος των δειγμάτων πατάτας καθώς και στην υγρασία ανάλογα με το χρόνο ξήρανσης τους.

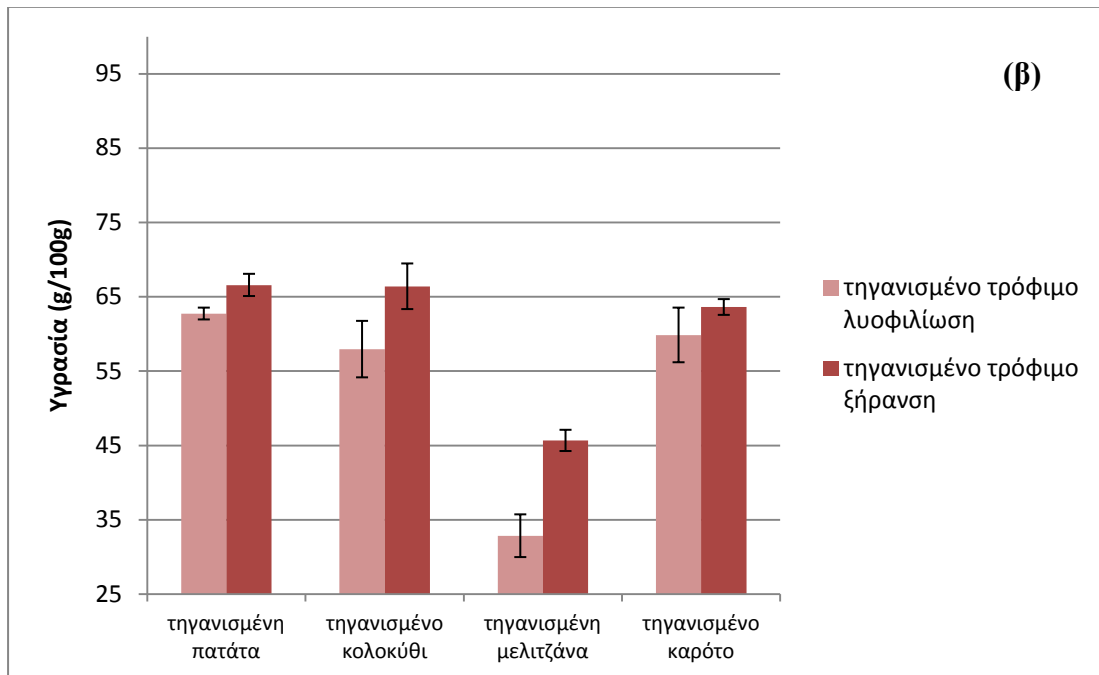
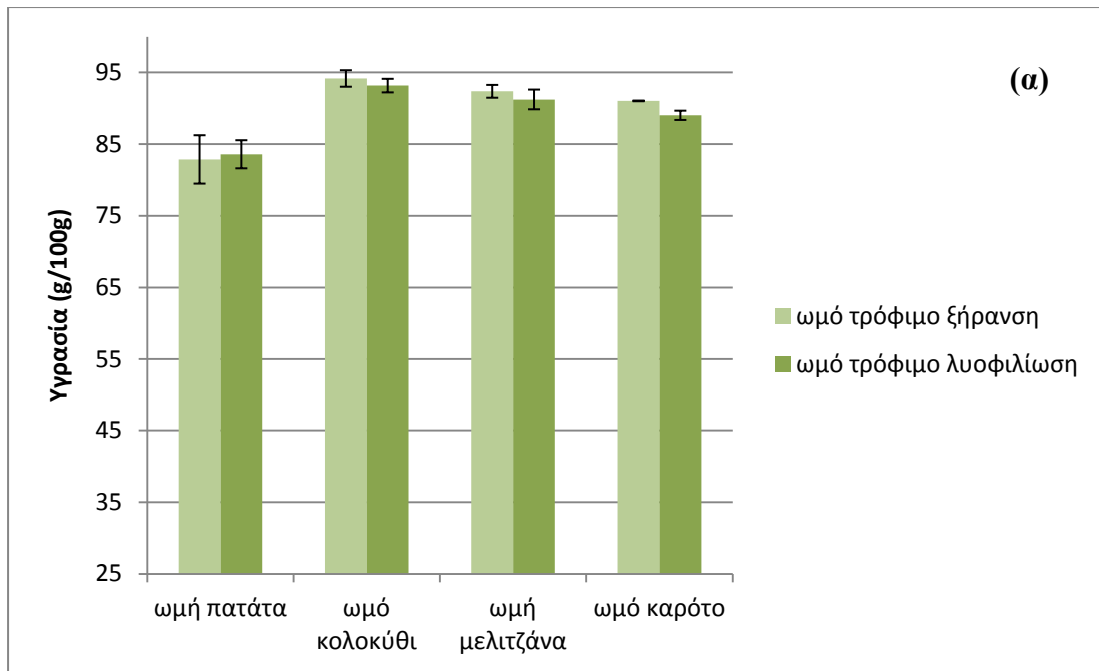
Δείγμα	Βάρος πριν την ξήρανση	Βάρος 24h ξήρανση	Υγρασία 24h (g/100g)	Βάρος 27h ξήρανση	Υγρασία 27h (g/100g)	Βάρος 43h ξήρανση	Υγρασία 43h (g/100g)
1	5,9254	2,0534	65,35	2,0468	65,46	2,0518	65,37
2	5,9686	2,1064	64,71	2,1001	64,81	2,1043	64,74
3	5,7852	2,1039	63,63	2,0972	63,75	2,1004	63,69
4	6,1608	1,9411	68,49	1,9365	68,57	1,9377	68,55
5	6,5326	2,0975	67,89	2,0919	67,98	2,096	67,91
6	6,6655	2,2568	66,14	2,2516	66,22	2,2533	66,19
7	6,8057	2,468	63,74	2,4643	63,79	2,4655	63,77
8	5,9389	2,2248	62,54	2,2198	62,62	2,2212	62,60
9	5,8662	2,497	57,43	2,4924	57,51	2,4959	57,45

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 6 διαπιστώθηκε ότι οι 27ώρες ξήρανσης είναι αρκετές για την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας και την απόκτηση σταθερού βάρους.

Κατόπιν προσδιορίστηκε η υγρασία των τροφίμων με τη μέθοδο της λυοφιλίωσης. Τρεις ράβδοι πατάτας πάχους 1cm και μήκους 6cm τηγανίστηκαν σε φριτέζα που περιείχε 2,1L ηλιέλαιου στου 170°C για 5min. Κατόπιν τοποθετήθηκαν σε τρυβλίο petri, ζυγίστηκαν με ακρίβεια και στην συνέχεια μεταφέρθηκαν σε καταψύκτη. Τέλος μεταφέρθηκαν για ξήρανση στην συσκευή λυοφιλίωσης. Ακολούθησε η ακριβή ζύγιση τους σε αναλυτικό ζυγό.

Στο Σχήμα 7 α και β παρουσιάζεται η υγρασία όπως προσδιορίστηκε και με τις δύο μεθόδους ξήρανσης σε ωμά και τηγανισμένα τρόφιμα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι με την μέθοδο της λυοφιλίωσης η προσδιοριζόμενη υγρασία είναι λίγο χαμηλότερη, διότι μέρος της υγρασίας παραμένει στο τρόφιμο μετά τη λυοφιλίωση. Οι διαφορές είναι εντονότερες στα τηγανισμένα τρόφιμα.

Για το λόγο αυτό για τη μελέτη της επίδρασης του τηγανίσματος στην υγρασία του τροφίμου χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα που πήραμε από την ξήρανση σε φούρνο μέχρι σταθερού βάρους.



Σχήμα 7: Υγρασία στα ωμά (α) και τηγανισμένα (β) τρόφιμα που έγιναν με την μέθοδο της ξήρανσης σε φούρνο αέρα και με λυοφιλίωση.

5.1.3 Προκαταρκτικές δοκιμές για τον προσδιορισμό του ελαίου.

Όπως προαναφέρθηκε η πρόσληψη του ελαίου από τα τρόφιμα κατά το τηγάνισμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την περιεχόμενη στο τρόφιμο υγρασία, το χρόνο και την θερμοκρασία τηγανίσματος, αλλά και τη γεωμετρία του τροφίμου. Για το λόγο αυτό προκειμένου να βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες για τον προσδιορισμό του ελαίου στα τρόφιμα έγιναν μια σειρά δοκιμών σε δείγματα πατάτας, μεταβάλλοντας κάθε φορά έναν ή και περισσότερους από τους παραπάνω παράγοντες. Η διεργασία του τηγανίσματος πραγματοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις σε φριτέζα που περιείχε 2,1L ηλιέλαιου, στην οποία προσαρμόστηκε θερμομόμετρο για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του ελαίου.

Στην πρώτη περίπτωση οι πατάτες τεμαχίστηκαν σε ράβδους πάχους 1cm και μήκους 5cm. Η θερμοκρασία του ελαίου στην φριτέζα σταθεροποιήθηκε στους 180°C και κατόπιν τηγανίστηκαν 5 ράβδοι τροφίμου για 5min, χωρίς η θερμοκρασία του ελαίου να πέσει κάτω από τους 175°C. Τρεις ράβδοι πατάτας από κάθε τηγάνισμα ομογενοποιήθηκαν σε μπλέντερ και κατόπιν ζυγίστηκαν με ακρίβεια σε τρυβλίο petri στο οποίο προηγουμένως είχε προσαρμοστεί διηθητικό χαρτί. Στην συνέχεια, τα τρυβλία τοποθετήθηκαν σε φούρνο με αέρα στους 103°C και παρέμειναν εκεί για 43 ώρες. Ακολούθησε η μέτρηση του περιεχόμενου λίπους των δειγμάτων σε συσκευή συνεχούς εκχύλισης Soxhlet χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Μεταβολές της λιποπεριεκτικότητας των δειγμάτων τηγανιτής πατάτας ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας της συσκευής.

Χρόνος λειτουργίας της συσκευής (min)	Υγρασία (g/100g)	Λίπος (υ.β.) (g/100g)	Λίπος (ξ.β.) (g/100g)
270	65,37	0,70	2,00
	64,74	1,01	2,90
	63,69	1,13	3,10
510	68,55	1,19	3,77
	67,91	1,05	3,26
	66,19	0,59	1,74

Στην δεύτερη περίπτωση οι πατάτες τεμαχίστηκαν σε ράβδους πάχους 1cm και μήκους 6cm. Η θερμοκρασία του ελαίου στην φριτέζα σταθεροποιήθηκε στους 170°C και κατόπιν τα δείγματα τηγανίστηκαν για 10min. Κατά τη διάρκεια του

τηγανίσματος η θερμοκρασία του ελαίου στην φριτέζα έφτασε μέχρι και τους 130°C. Κατόπιν τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε μπλέντερ και ομογενοποιήθηκαν. Ορισμένη ποσότητα τροφίμου ζυγίστηκε με ακρίβεια σε τρυβλίο petri και στην συνέχεια τα δείγματα μεταφέρθηκαν για ξήρανση σε φούρνο με αέρα στους 103°C για 27 ώρες. Ακολούθησε η μέτρηση της λιποπεριεκτικότητας χρησιμοποιώντας διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας στην συσκευή συνεχούς εκχύλισης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Μεταβολές της λιποπεριεκτικότητας των δειγμάτων τηγανιτής πατάτας ανάλογα με την ποσότητα του δείγματος που ξεράθηκε και τον χρόνο λειτουργίας της συσκευής.

Βάρος τροφίμου πριν την ξήρανση (g)	Χρόνος λειτουργίας της συσκευής (min)	Υγρασία (g/100g)	Λίπος (υ.β.) (g/100g)	Λίπος (ξ.β.) (g/100g)
10	120	57,79	5,51	13,06
		60,67	5,25	13,36
		58,05	5,47	13,03
		58,50	5,78	13,93
6	210	55,22	4,03	8,99
		55,34	3,69	8,27
10	210	58,40	4,04	9,72
		58,49	5,39	13,00
		59,45	6,15	15,16

Στην τρίτη περίπτωση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την δεύτερη με την διαφορά ότι πριν την ξήρανση στα τρυβλία με το δείγμα προστέθηκαν 2g άμμου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Μεταβολές στη λιποπεριεκτικότητα των δειγμάτων τηγανιτής πατάτας ανάλογα με την ποσότητα του δείγματος που ξεράθηκε και τον χρόνο λειτουργίας της συσκευής.

Βάρος τροφίμου πριν την ξήρανση (g)	Χρόνος λειτουργίας της συσκευής (min)	Υγρασία (g/100g)	Λίπος (υ.β.) (g/100g)	Λίπος (ξ.β.) (g/100g)
6	210	55,01	3,88	8,63
		55,41	3,93	8,81
		55,14	3,65	8,15
10	210	64,24	1,65	4,62
		64,73	1,39	3,94
		64,25	1,63	4,57
		65,78	1,45	4,24

Στην τέταρτη περίπτωση οι πατάτες τεμαχίστηκαν σε ράβδους πάχους 1cm και μήκους 6cm. Η θερμοκρασία του ελαίου στην φριτέζα σταθεροποιήθηκε στους 170°C και κατόπιν τηγανίστηκαν 3 ράβδοι τροφίμου για 5min, χωρίς η θερμοκρασία του ελαίου να πέσει κάτω από τους 165°C. Κατόπιν έγινε η ξήρανση των δειγμάτων η οποία πραγματοποιήθηκε με τρεις διαφορετικούς τρόπους και ακολούθησε η μέτρηση της λιποπεριεκτικότητας στην συσκευή συνεχούς εκχύλισης Soxhlet, με χρόνο λειτουργίας της συσκευής 210min. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Μεταβολές στην λιποπεριεκτικότητα των δειγμάτων τηγανιτής πατάτας ανάλογα με την μέθοδο ξήρανσης.

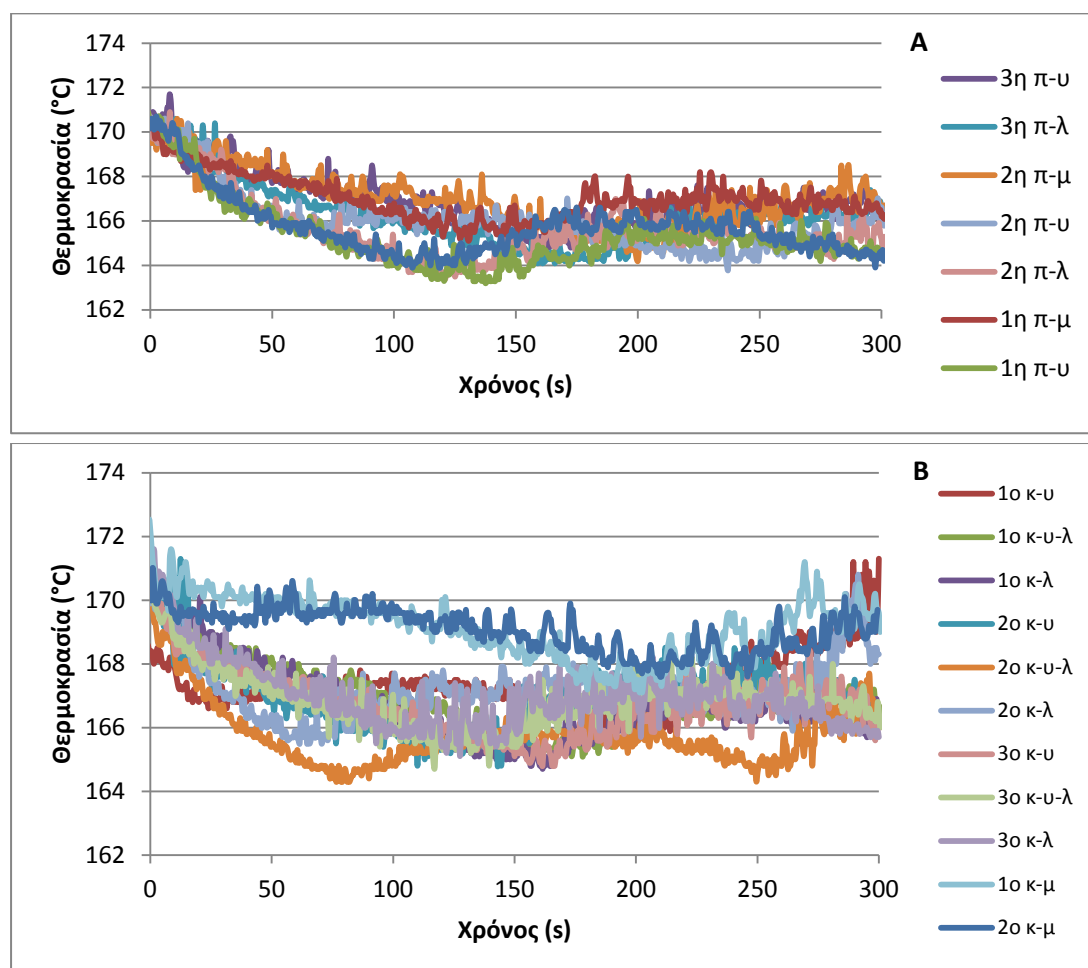
Μέθοδος ξήρανσης	Υγρασία (g/100g)	Λίπος (υ.β.) (g/100g)	Λίπος (ξ.β.) (g/100g)
Ξήρανση σε φούρνο με αέρα για 27 ώρες	61,61	1,63	4,25
	61,85	1,53	4,02
	61,94	1,54	4,05
	61,38	1,85	4,79
Ξήρανση με λυοφιλίωση	61,02	11,54	29,60
	57,78	9,51	22,53
	62,78	11,24	30,21
Ξήρανση με λυοφιλίωση και κατόπιν ξήρανση σε φούρνο με αέρα για 25 ώρες	64,23	2,34	6,39
	55,88	2,02	4,50
	52,03	1,89	3,95

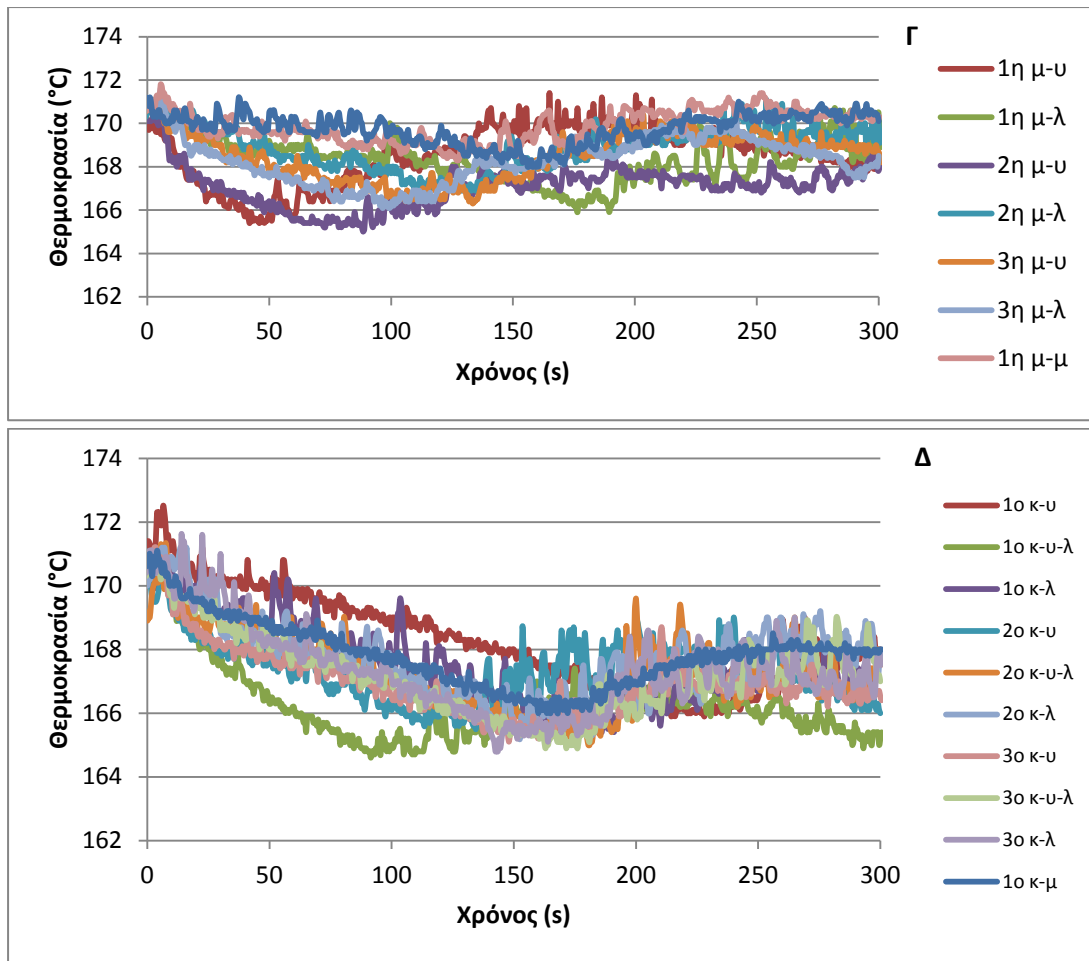
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που βλέπουμε στους Πίνακες 7,8,9,10 διαπιστώθηκε ότι την μεγαλύτερη επίδραση στην λιποπεριεκτικότητα των τροφίμων έχει η μέθοδος ξήρανσης τους. Τα καλύτερα αποτελέσματα σύμφωνα και με την βιβλιογραφία δίνουν τα δείγματα που ξεράθηκαν με λυοφιλίωση. Αντίθετα το βάρος του τροφίμου δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην λιποπεριεκτικότητα. Τέλος ο χρόνος λειτουργίας της συσκευής φαίνεται να έχει μικρή επίδραση στην λιποπεριεκτικότητα των τροφίμων και διαπιστώθηκε ότι χρόνος λειτουργίας 210min είναι αρκετός για την πλήρη παραλαβή του λίπους από τα τρόφιμα.

5.2 Κύριες δοκιμές

5.2.1 Επίδραση του τηγανίσματος στην θερμοκρασία του ελαίου

Από την καταγραφή των θερμοκρασιών του ελαίου που έγινε κατά το τηγάνισμα των φυτικών τροφίμων που προορίζονταν για τον προσδιορισμό της υγρασίας, του λίπους και της μικροδομής της κρούστας προέκυψαν τα σχήματα 8Α, Β, Γ και Δ. Φαίνεται ότι η θερμοκρασία του ελαίου παρουσιάζει παρόμοιο θερμοκρασιακό προφίλ σε όλα τα τρόφιμα χωρίς να πέφτει πάνω από 5°C στις περισσότερες περιπτώσεις. Επομένως οι συνθήκες τηγανίσματος (χρόνος και θερμοκρασία) ήταν οι ίδιες για όλα τα τρόφιμα.

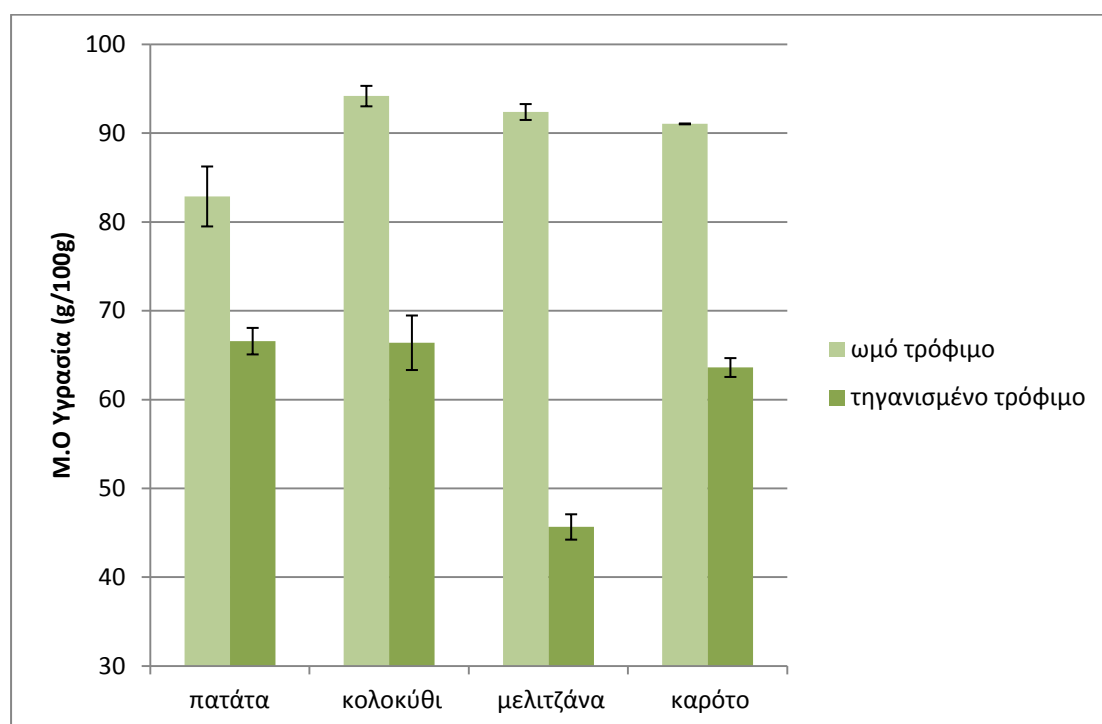




Σχήμα 8: Μεταβολές στην θερμοκρασία του ελαίου κατά το τηγάνισμα (Α) πατάτας (Β) κολοκυθιού (Γ) μελιτζάνας, (Δ) καρότου, σε συνάρτηση με το χρόνο (υ = υγρασία, λ = λίπος, μ = μικροδομή)

5.2.1 Επίδραση του τηγανίσματος στην περιεχόμενη υγρασία των τροφίμων

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η υγρασία ωμών και τηγανισμένων τροφίμων με τη μέθοδο ξήρανσης σε φούρνο αέρα. Φαίνεται ότι η διεργασία του τηγανίσματος μεταβάλλει κατά πολύ την περιεκτικότητα της υγρασίας στα τρόφιμα, με την μεγαλύτερη μεταβολή να εμφανίζεται στους ράβδους της μελιτζάνας ενώ η μικρότερη μεταβολή στους ράβδους πατάτας.



Σχήμα 9: Υγρασία ωμών και τηγανισμένων τροφίμων

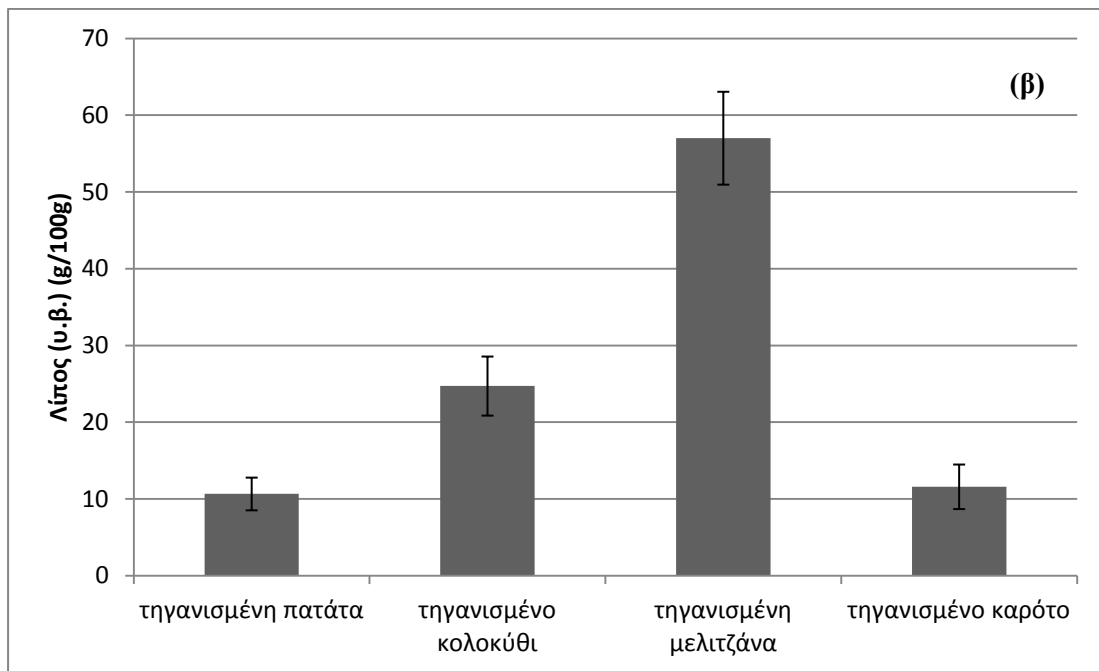
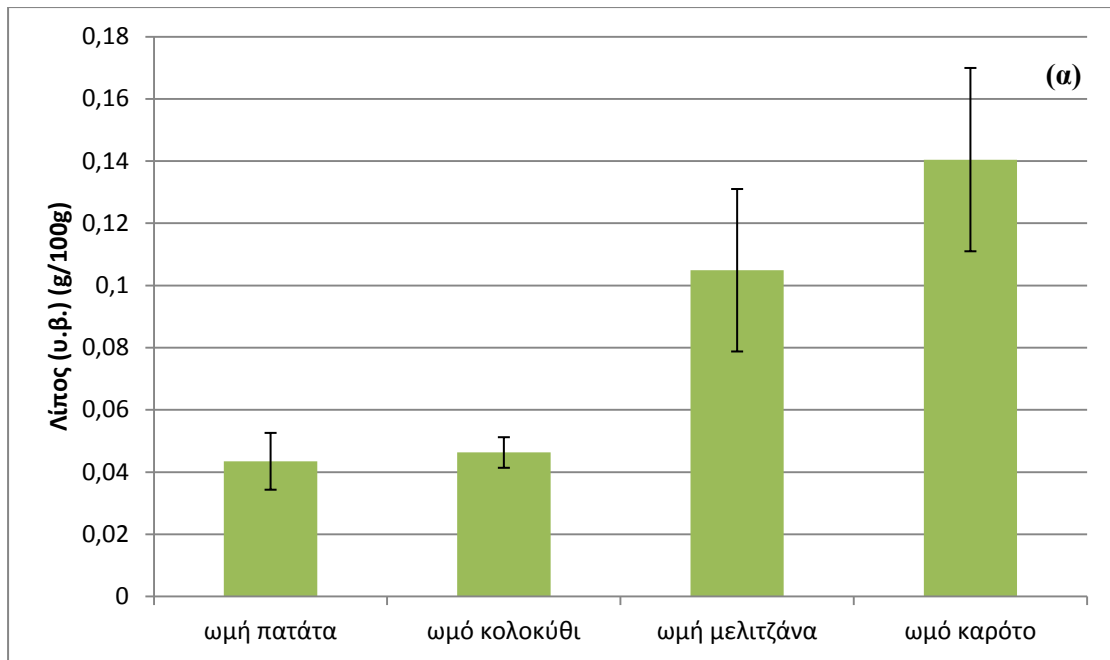
Οι Ni & Datta (1999) μελέτησαν την επίδραση της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας πάνω στην απώλεια υγρασίας και στο πάχος της κρούστας και βρήκαν ότι η απώλεια υγρασίας αυξάνεται σημαντικά με την αρχική περιεχόμενη υγρασία λόγω του ότι η επιφανειακή εξάτμιση και η επακόλουθη εσωτερική εξάτμιση είναι υψηλότερη για τρόφιμα με υψηλή υγρασία (Farinu and Baik, 2006).

5.2.2 Επίδραση του τηγανίσματος στην πρόσληψη του ελαίου

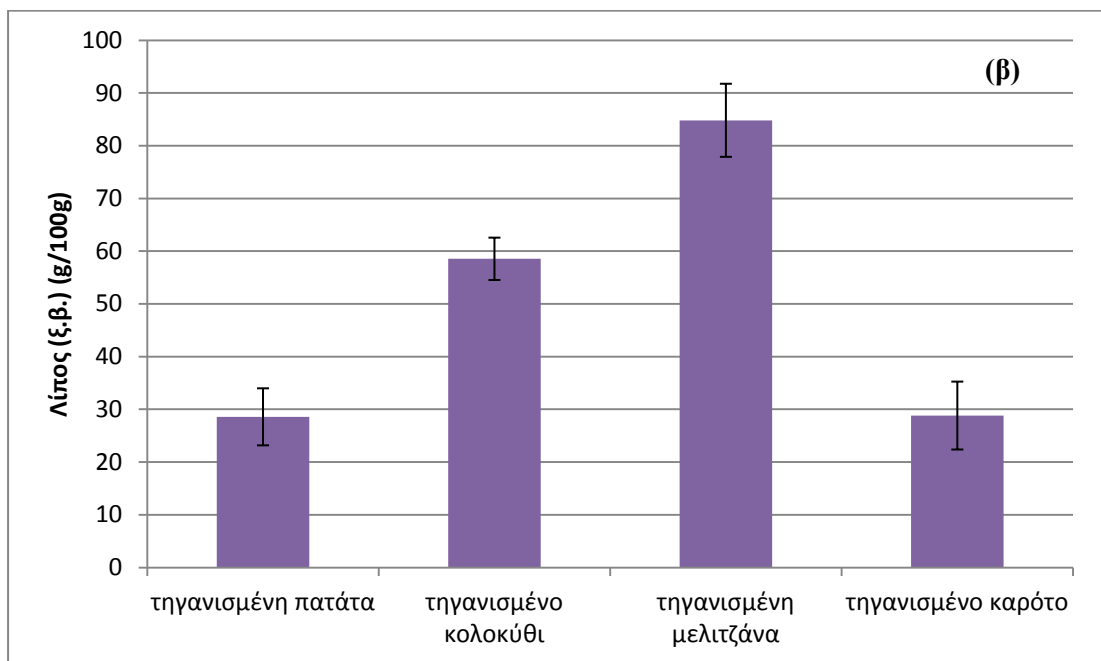
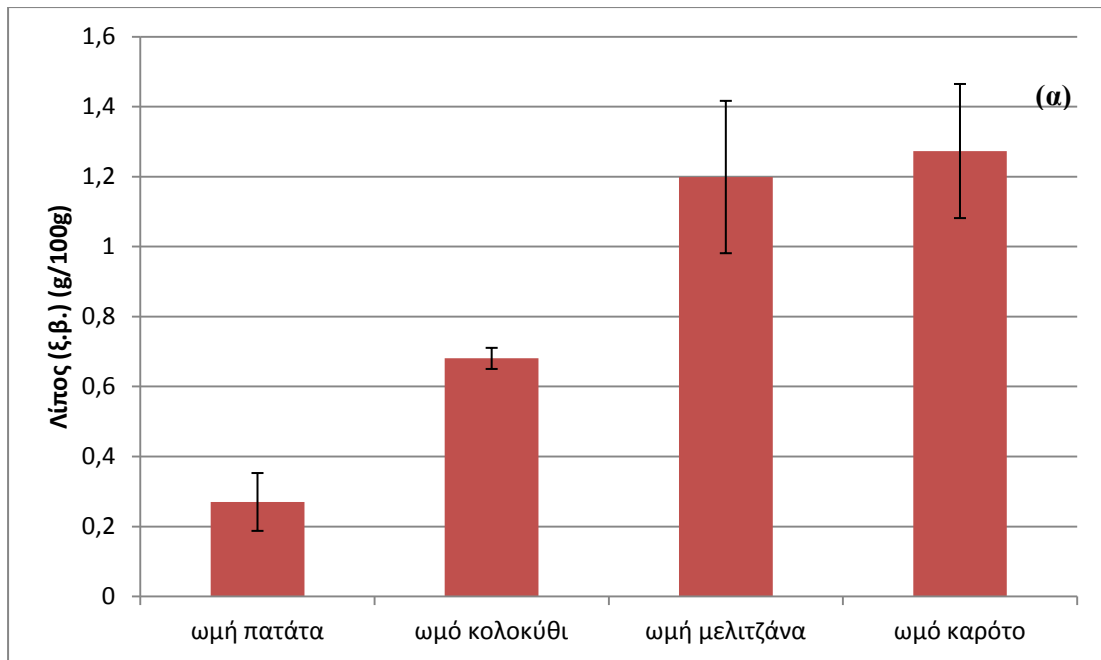
Στα Σχήματα 10 και 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λιποπεριεκτικότητας των ωμών και τηγανισμένων τροφίμων.

Από τα Σχήματα 10 και 11 φαίνεται ότι η μελιτζάνα κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος απορροφάει το περισσότερο έλαιο σε σχέση με τα άλλα τρία τρόφιμα και ακολουθεί το κολοκύθι ενώ το καρότο και η πατάτα έχουν τη χαμηλότερη πρόσληψη ελαίου. Οι Ziaifar et al. (2008) ανέφεραν ότι η αρχική σύνθεση των τροφίμων επηρεάζει την απορρόφηση του ελαίου κατά το τηγάνισμα. Επίσης ανέφεραν ότι η αρχική περιεκτικότητα των στερεών στο τρόφιμο επηρεάζει την πρόσληψη του ελαίου κατά το τηγάνισμα λόγω της σχέσης μεταξύ της απώλειας του νερού και της απορρόφησης του ελαίου. Σύμφωνα με τον Bouchon (2009) η ποσότητα του ελαίου που απορροφάται είναι ευθέως ανάλογη προς την ποσότητα της υγρασίας που χάνεται. Όπως φαίνεται και στον Σχήμα 8 στην Ενότητα 5.2.1 η μελιτζάνα παρουσιάζει την μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά το τηγάνισμα. Αντίθετα η πατάτα παρουσιάζει την μικρότερη πρόσληψη ελαίου καθώς έχει την μικρότερη απώλεια υγρασίας. Στα αποτελέσματα μας αυτό επιβεβαιώνεται για την περίπτωση της μελιτζάνας ενώ δεν επιβεβαιώνεται στην περίπτωση του κολοκυθιού το οποίο αν και χάνει παρόμοιο ποσοστό υγρασίας με την πατάτα και το καρότο προσλαμβάνει περισσότερο έλαιο. Οι Kologeropoulos et al. (2007) διαπίστωσαν ότι η πρόσληψη ελαίου σε δείγματα μελιτζάνας είναι πολύ υψηλή αν και χάνει μόνο το 50% της αρχικής της υγρασίας και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μελιτζάνα είναι ένα υδατικό μη αμυλούχο προϊόν του οποίου η δομή είναι αδύναμη και σπογγώδης.

Οι διαφορές στην αρχική περιεκτικότητα σε έλαιο μεταξύ των φυτικών τροφίμων καθώς και της ποσότητας που απορροφάται κατά το τηγάνισμα μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτές από τα σχήματα 10 α,β και 11 α,β.



Σχήμα 10: Λιποπεριεκτικότητα επί υγρής βάσης (α) σε ωμά και (β) τηγανισμένα τρόφιμα.

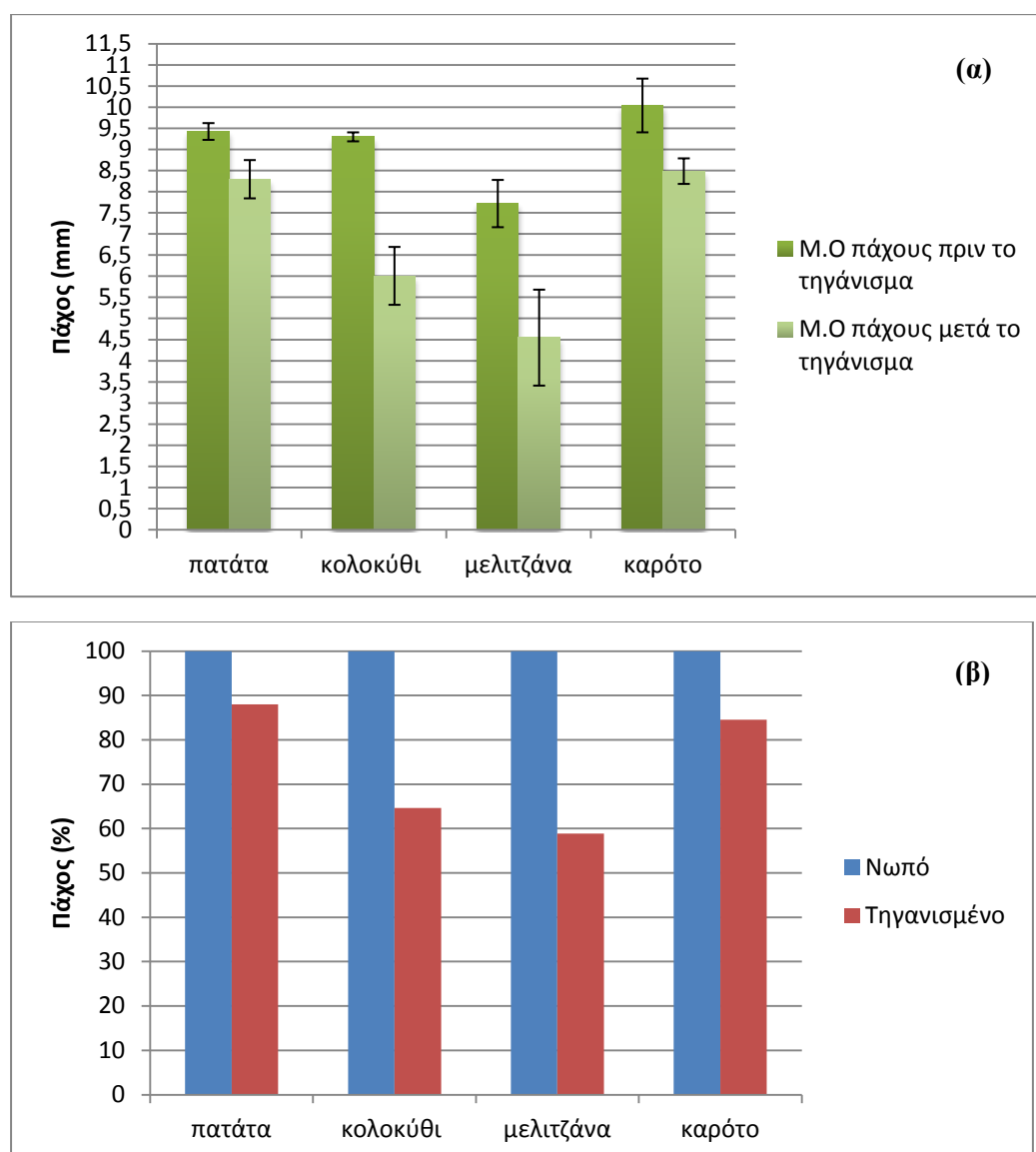


Σχήμα 11: Λιποπεριεκτικότητα επί ξηρής βάσης (α) σε ωμά και (β) τηγανισμένα τρόφιμα.

5.2.3 Επίδραση του τηγανίσματος στο πάχος των τροφίμων

Πριν και μετά την διεργασία του τηγανίσματος μετρήθηκε το πάχος των φυτικών τροφίμων με την βοήθεια παχύμετρου. Στον Σχήματα 12 α και β φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών.

Από την σύγκριση των μέσων όρων βλέπουμε ότι το πάχος των τροφίμων μειώθηκε σημαντικά μετά την διεργασία του τηγανίσματος. Όπως φαίνεται στα Σχήματα 12α και β η μελιτζάνα υφίσταται την μεγαλύτερη μείωση στο πάχος της και αυτό σχετίζεται με την απώλεια υγρασίας (Ενότητα 5.2.1). Την αμέσως μικρότερη μείωση υφίσταται το κολοκύθι και ακολουθούν το καρότο και τέλος η πατάτα.



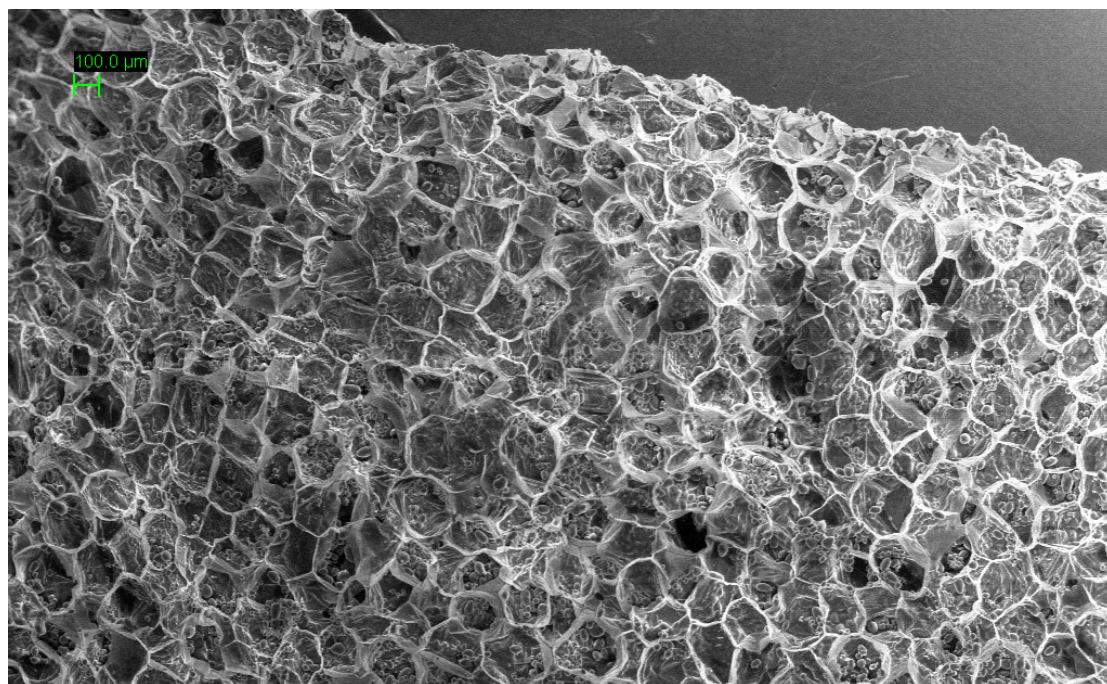
Σχήμα 12: Πάχος νωπών και τηγανισμένων τροφίμων (α) απόλυτες τιμές (β) % μεταβολή σε σύγκριση με το νωπό τρόφιμο

5.2.4 Επίδραση του τηγανίσματος στην μικροδομή της κρούστας των φυτικών τροφίμων

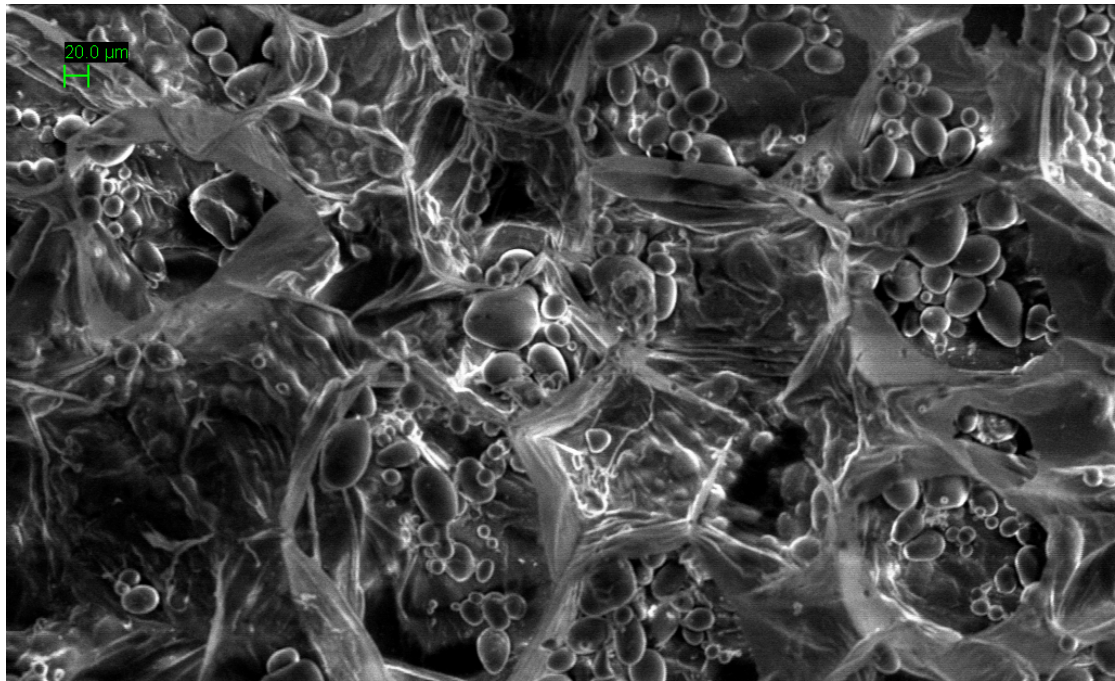
Στα Σχήματα 13 έως 14 απεικονίζονται οι τομές της ωμής πατάτας. Στα Σχήματα 15 και 16 οι τομές της τηγανισμένης πατάτας και στο Σχήμα 17 η επιφάνεια της τηγανισμένης πατάτας. Στην ωμή πατάτα διακρίνονται εύκολα τα κυτταρικά τοιχώματα και οι αμυλόκοκκοι (μη ζελατινοποιημένο άμυλο). Στην τηγανισμένη πατάτα είναι ευδιάκριτα τα φαινόμενα αποχωρισμού του ιστού και συρρίκνωσης στα κατώτερα μέρη της κρούστας, ενώ δεν παρατηρούνται αμυλόκοκκοι λόγω της ζελατινοποίησης του αμύλου.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της κρούστας είναι η ύπαρξη μακρών και μεγάλων τρυπών (Σχήμα 16) στο εσωτερικό της που είναι αποτέλεσμα του διαχωρισμού του ιστού που συμβαίνει λόγω της αύξησης της πίεσης στην περιοχή της κρούστας κατά την έντονη απομάκρυνση της υγρασίας.

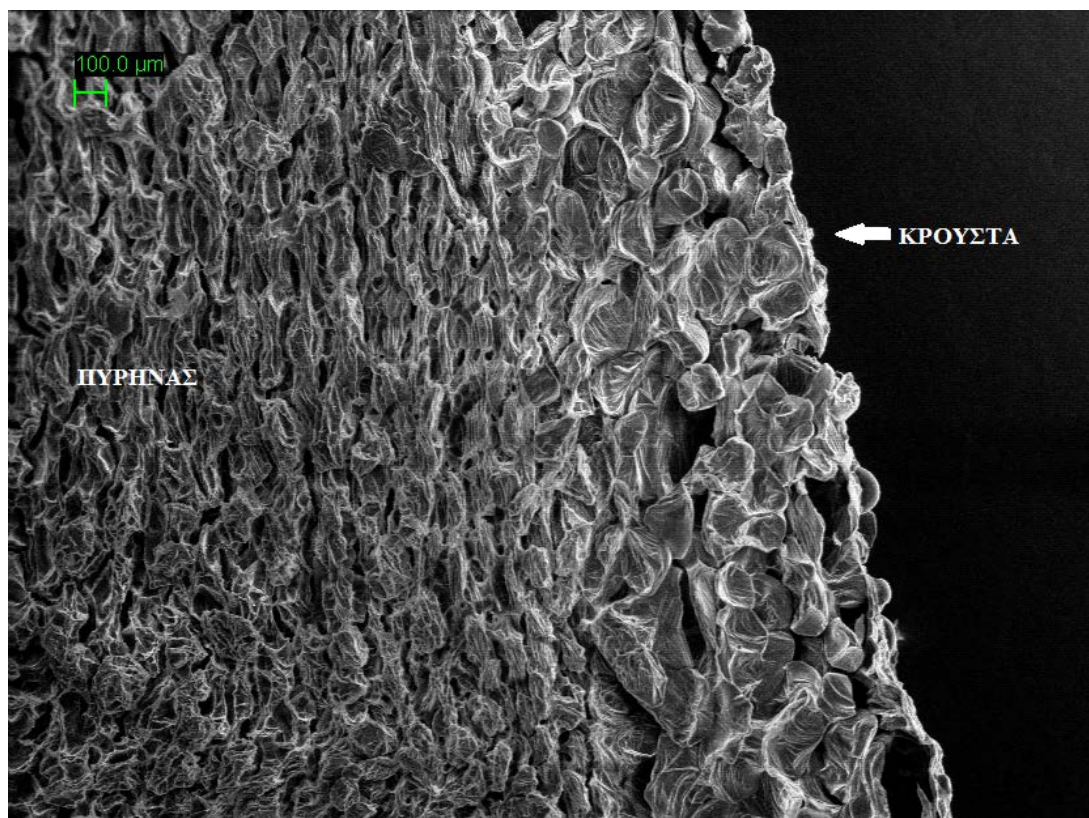
Τέλος στην επιφάνεια της πατάτας (Σχήμα 17) παρατηρείται συρρίκνωση (ζάρωμα) των κυττάρων προς το εσωτερικό της κρούστας και οπές.



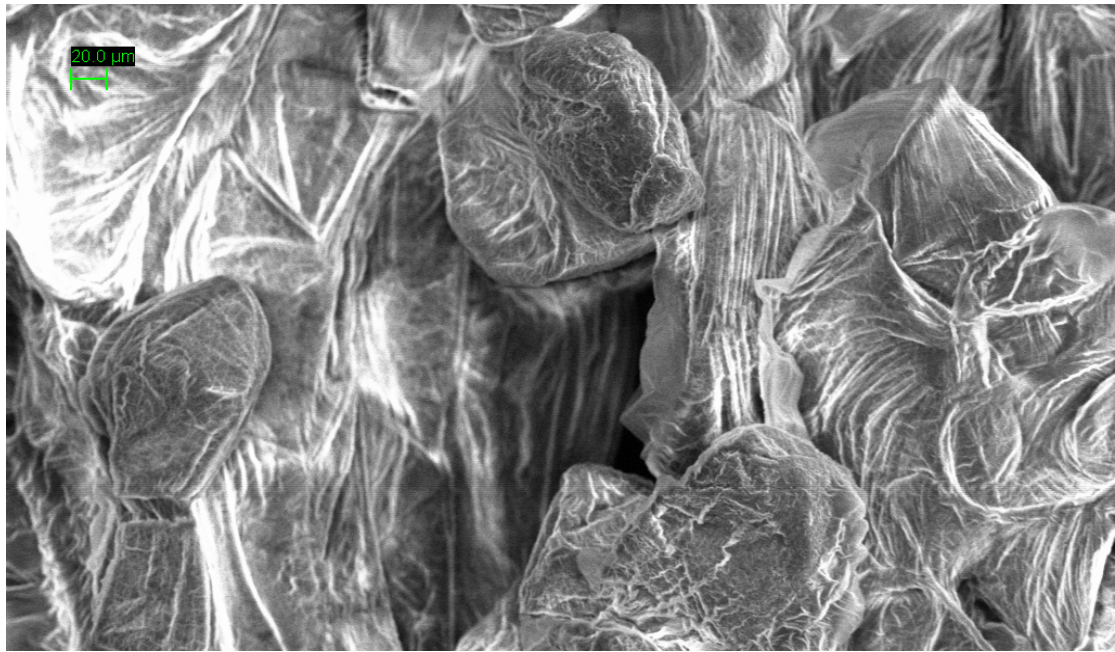
Σχήμα 13: Εγκάρσια τομή ωμής πατάτας



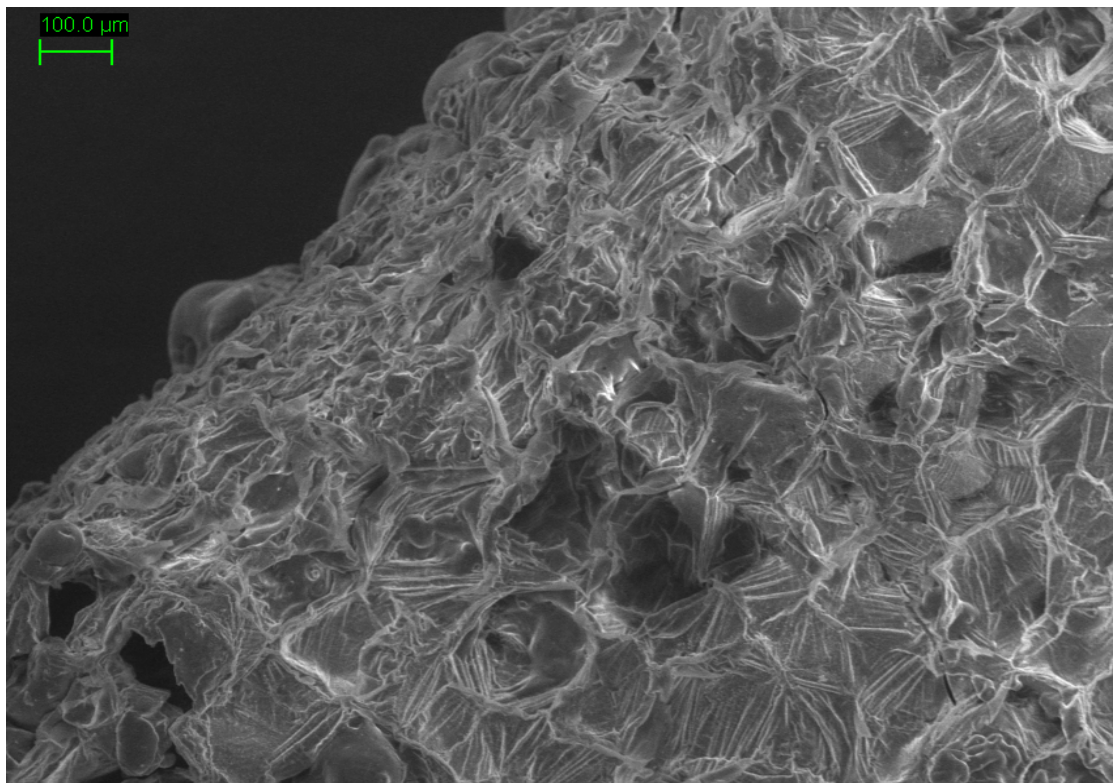
Σχήμα 14: Εγκάρσια τομή ωμής πατάτας. Διακρίνονται τα κύτταρα και οι αμυλόκοκκοι



Σχήμα 15: Εγκάρσια τομή τηγανισμένης πατάτας. Διακρίνονται η κρούστα και ο πυρήνας (ψίχα)

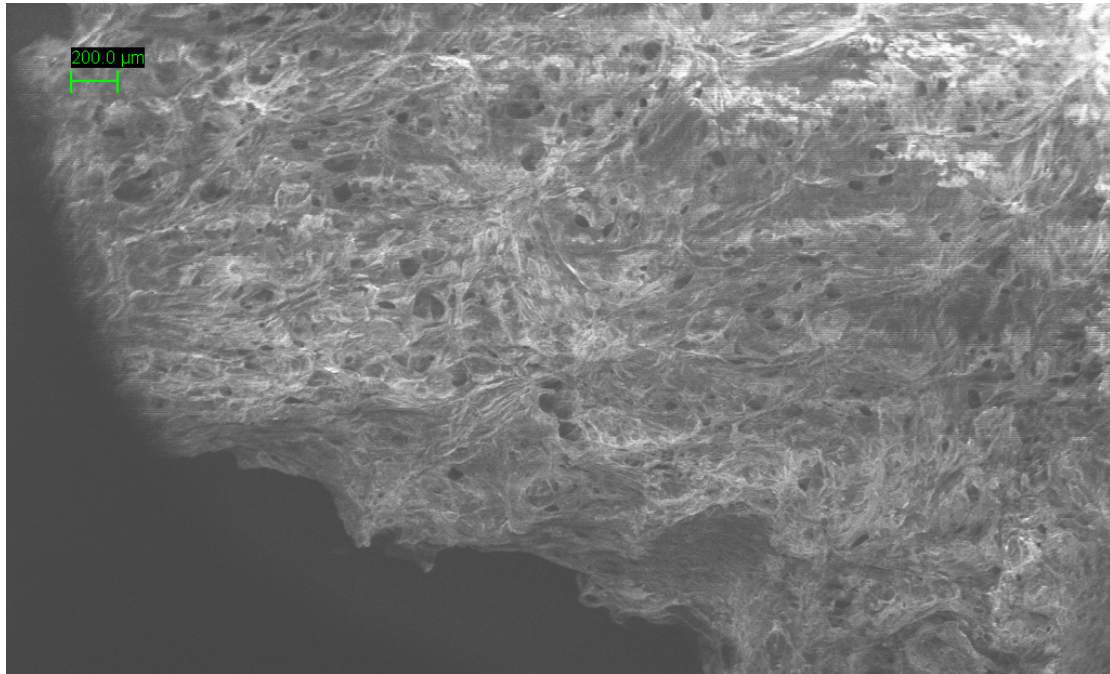


Σχήμα 16: Εγκάρσια τομή τηγανιτής πατάτας. Διακρίνεται σπή ανάμεσα στα κύτταρα

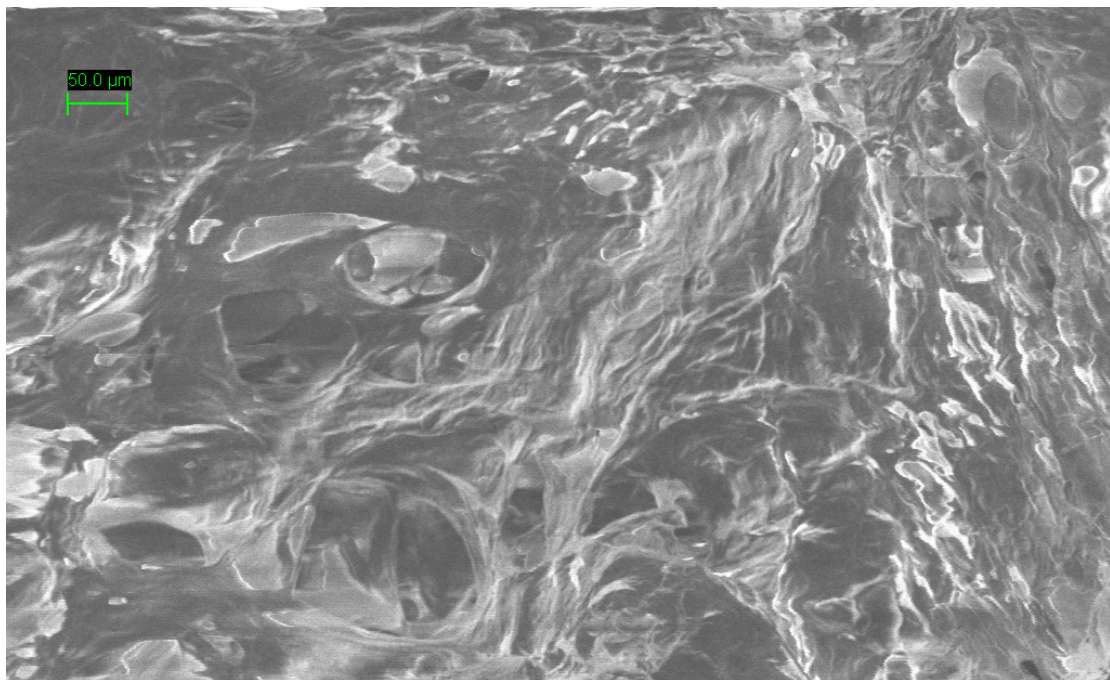


Σχήμα 17: Επιφάνεια τηγανισμένης πατάτας (κρούστα). Διακρίνονται αφυδατωμένα κύτταρα και σπές.

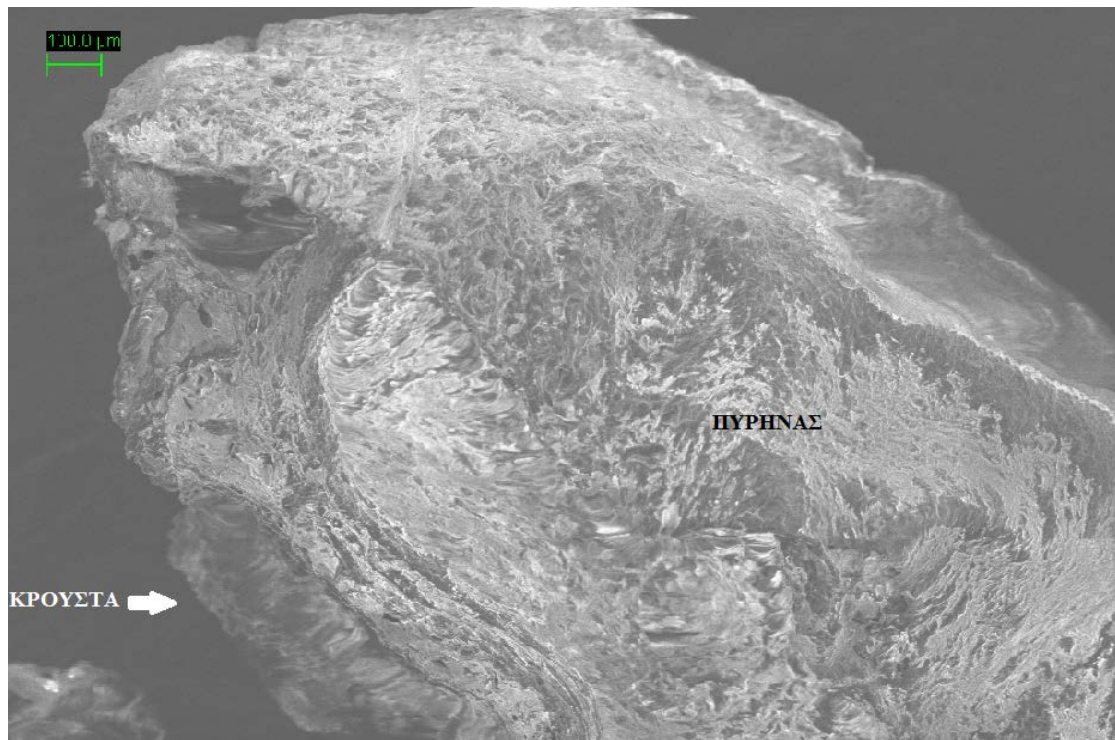
Η δομή του ωμού κολοκυθιού παρουσιάζεται διαφορετική από αυτή της πατάτας (Σχήματα 18 και 19). Στο τηγανισμένο κολοκύθι είναι ευδιάκριτη η κρούστα, πάχους 1-2mm, με επιμήκεις οπές που ομοιάζουν με αυτές της κρούστας της πατάτας (Σχήμα 20 και 21).



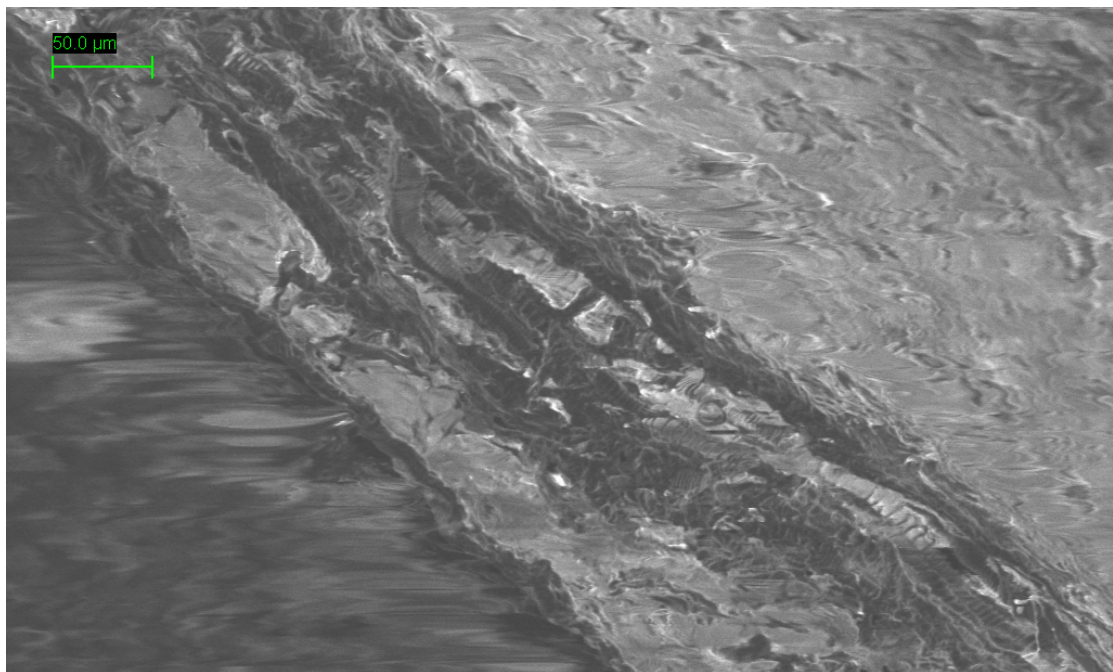
Σχήμα 18: Εγκάρσια τομή ωμού κολοκυθιού.



Σχήμα 19: Εγκάρσια τομή ωμού κολοκυθιού. Λεπτομέρεια.

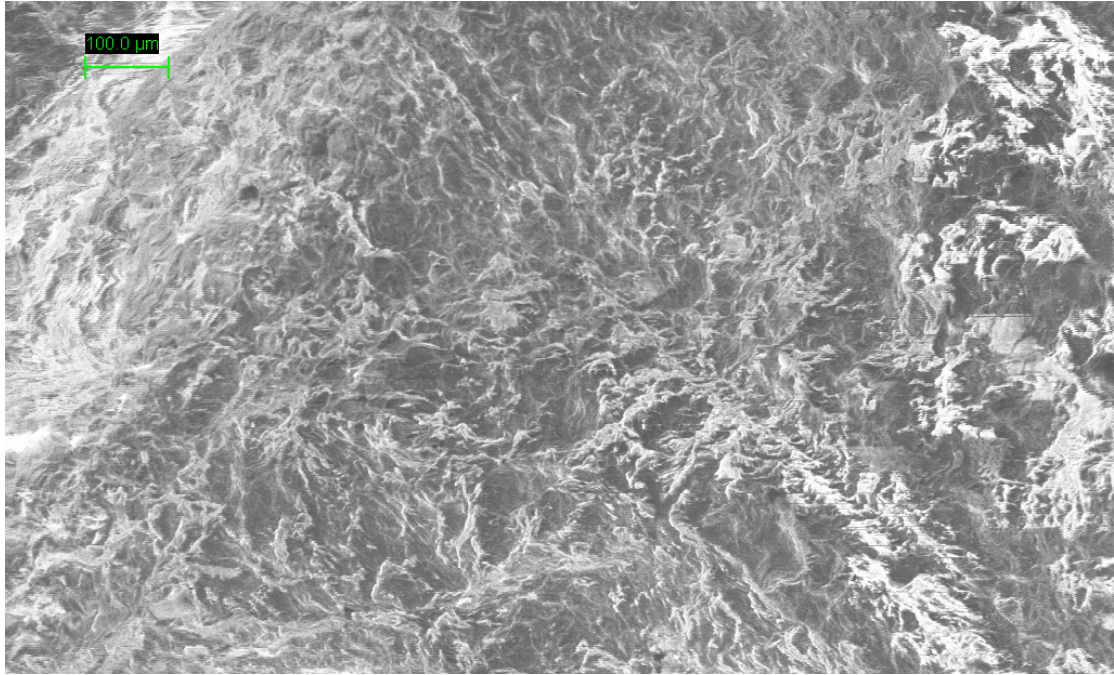


Σχήμα 20: Εγκάρσια τομή τηγανισμένου κολοκυθιού. Διακρίνονται η κρούστα και ο πυρήνας.



Σχήμα 21: Εγκάρσια τομή κρούστας τηγανισμένου κολοκυθιού. Διακρίνονται οριζόντιες οπές.

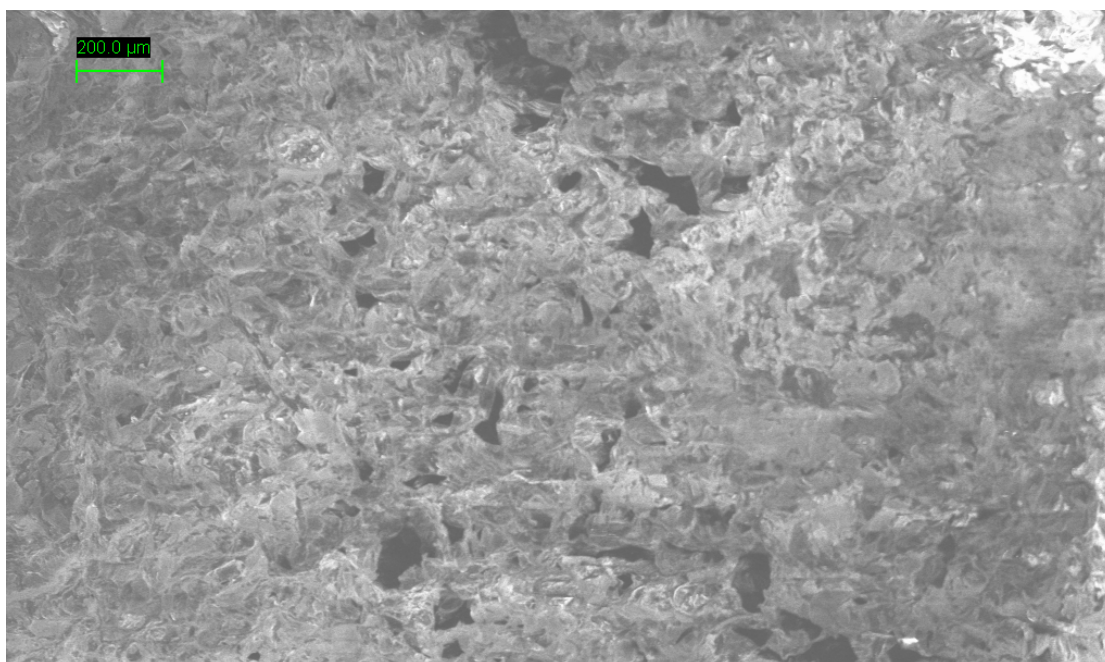
Η επιφάνεια του τηγανισμένου κολοκυθίου εμφανίζεται αδρή με μικρό αριθμό ενδεχομένων οπών (Σχήμα 22).



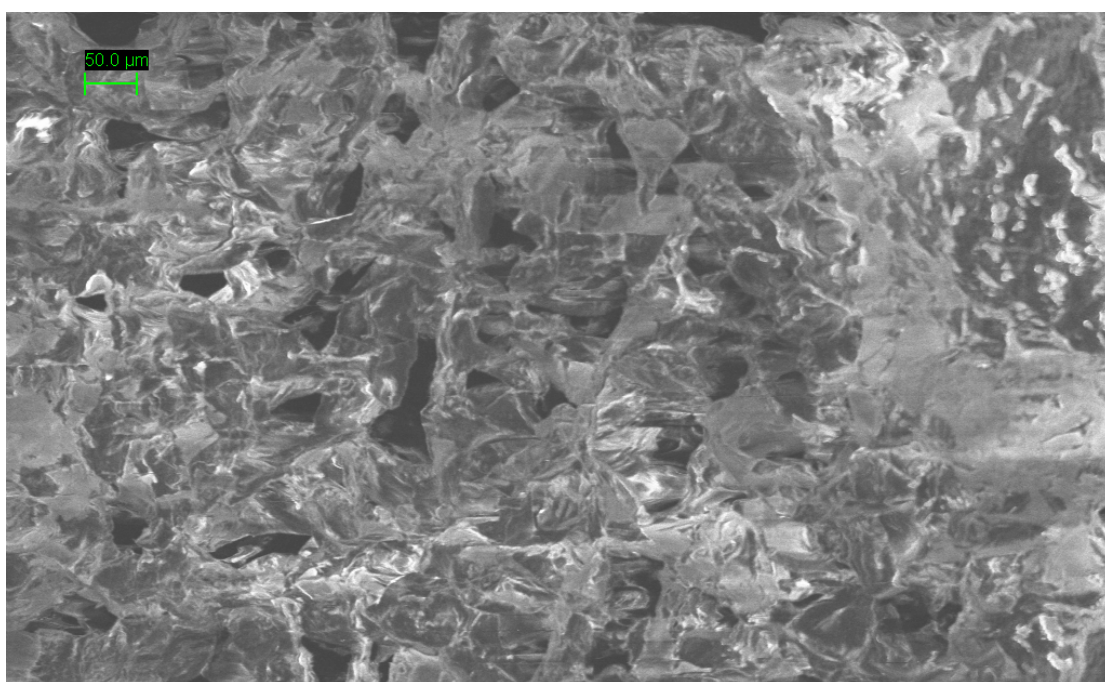
Σχήμα 22: Επιφάνεια τηγανισμένου κολοκυθίου.

Τα Σχήματα 23 έως 27 απεικονίζουν τομές ωμή και τηγανισμένης μελιτζάνας και την επιφάνεια τηγανισμένης μελιτζάνας.

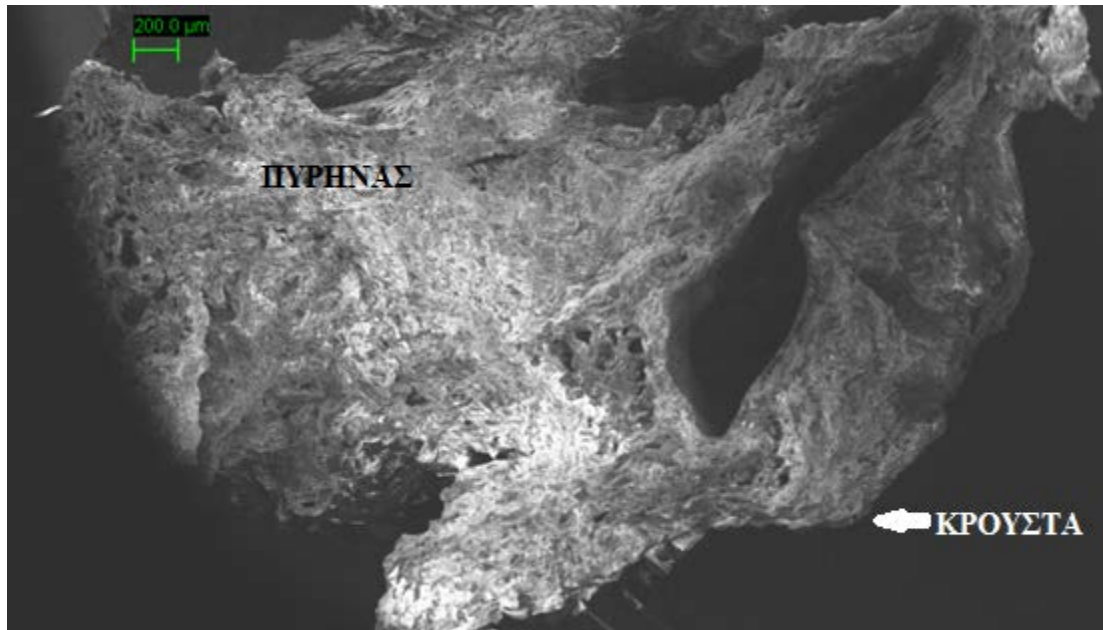
Η τομή ωμής μελιτζάνας (Σχήματα 23 και 24) παρουσιάζεται σπογγώδης με περιοχές με μεγαλύτερους ή μικρότερους πόρους. Όταν τηγανιστεί παρουσιάζει έντονη συρρίκνωση (Σχήματα 25 και 26), όπως παρατηρήθηκε κατά τη μέτρηση του πάχους (Σχήμα 12) και διατηρεί τη σπογγώδη υφή της. Επίσης εμφανίζει οπές.



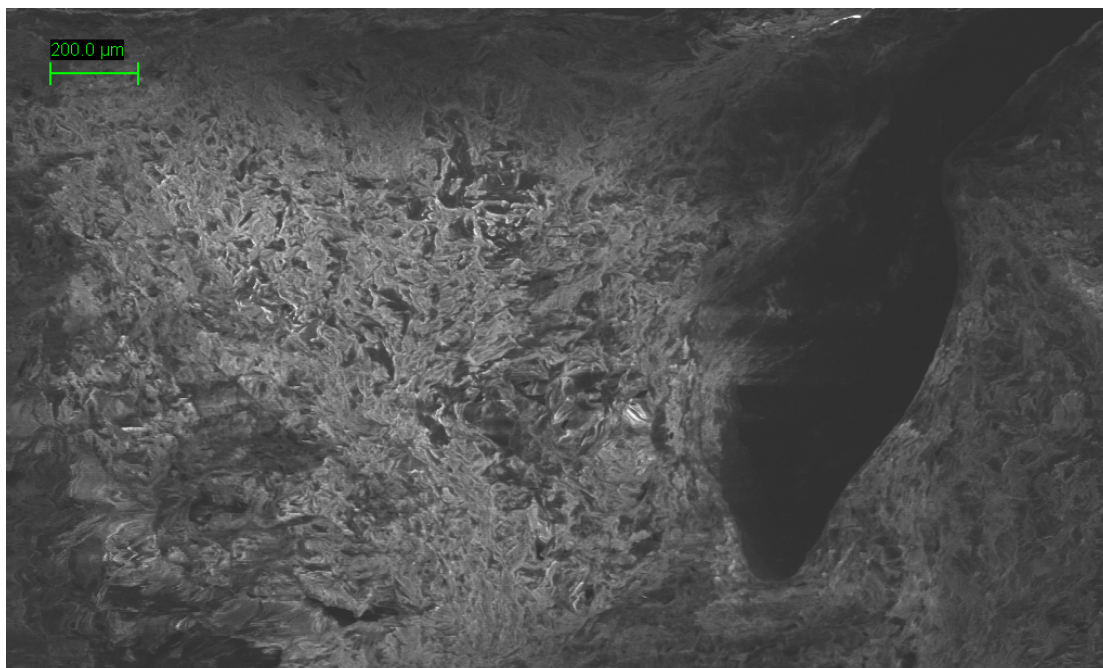
Σχήμα 23: Εγκάρσια τομή ωμής μελιτζάνας.



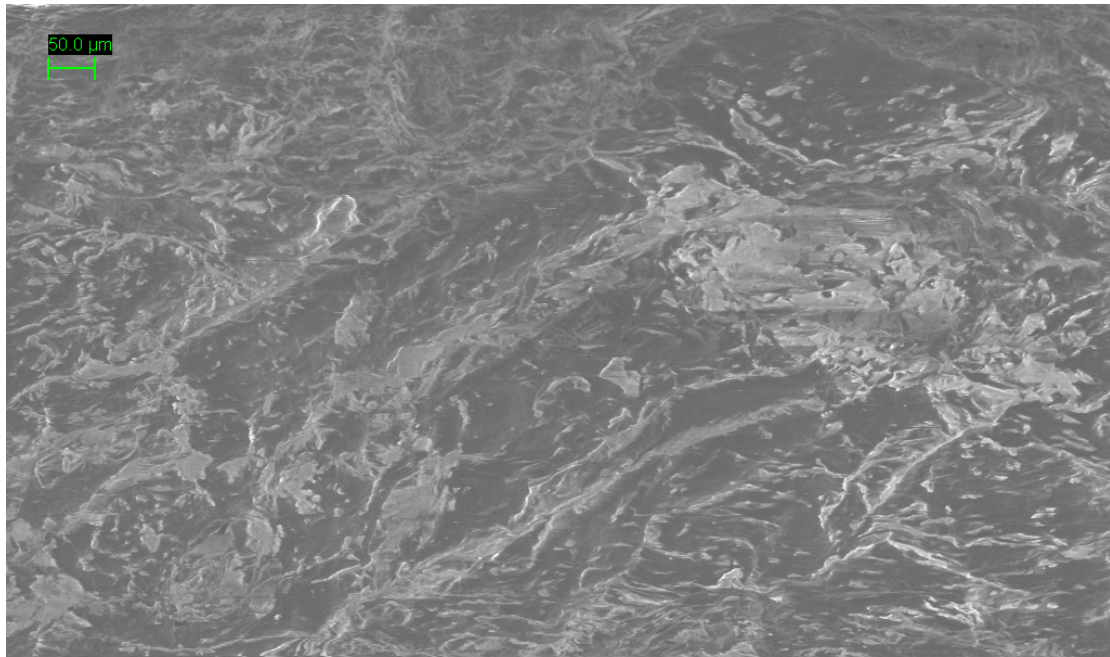
Σχήμα 24: Εγκάρσια τομή ωμής μελιτζάνας. Λεπτομέρεια.



Σχήμα 25: Εγκάρσια τομή τηγανισμένης μελιτζάνας. Διακρίνεται έντονη παραμόρφωση και το σπογγώδες της δομής της.



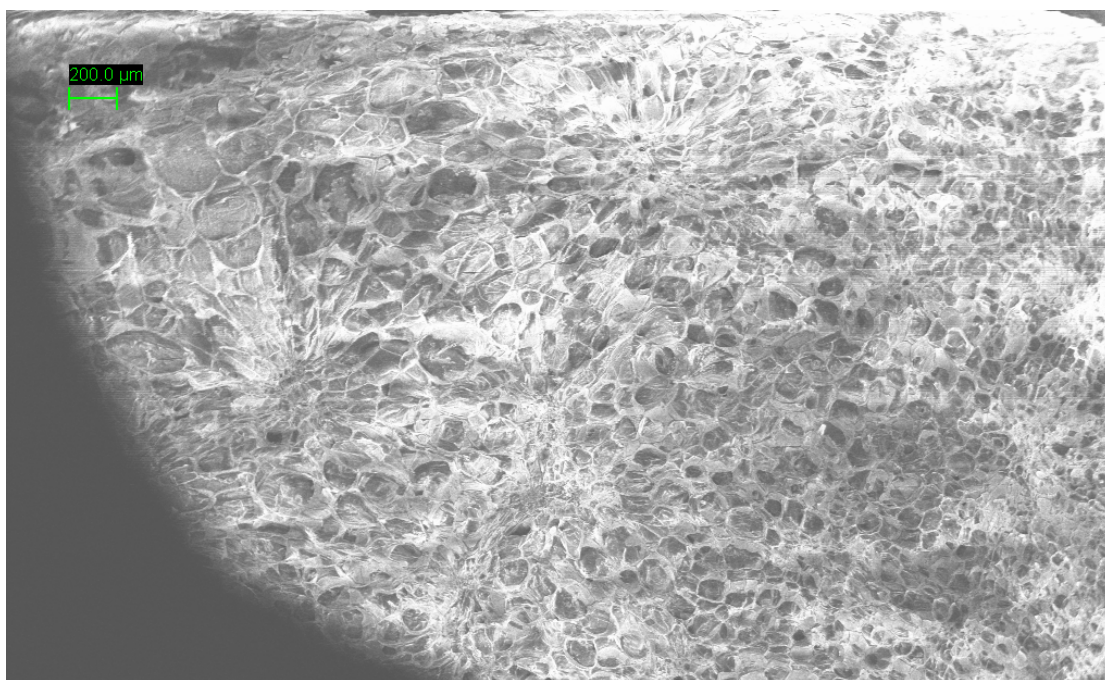
Σχήμα 26: Εγκάρσια τομή τηγανισμένης μελιτζάνας. Λεπτομέρεια όπου διακρίνεται το σπογγώδες της δομής της.



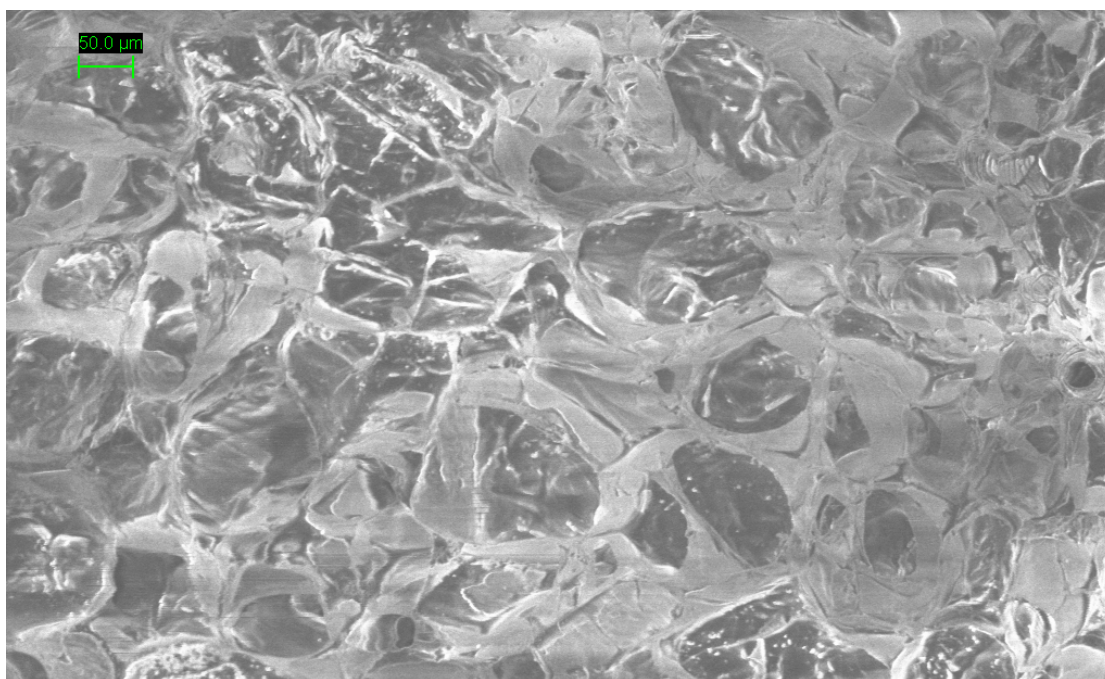
Σχήμα 27: Επιφάνεια τηγανισμένης μελιτζάνας.

Τα Σχήματα 28 έως 32 απεικονίζουν τομές ωμού και τηγανισμένου καρότου και την επιφάνεια του τηγανισμένου καρότου.

Το καρότο (Σχήματα 28 και 29) παρουσιάζει κυτταρική δομή που μοιάζει με αυτή της πατάτας και κύτταρα διαφορετικού μεγέθους ακτινικά (χρησιμοποιώντας ως αναφορά το κέντρο του καρότου). Στις εικόνες που εξετάστηκαν δεν παρατηρήθηκαν αμυλόκοκκοι λόγω της μικρής περιεκτικότητας αμύλου του καρότου (Πίνακας 4).

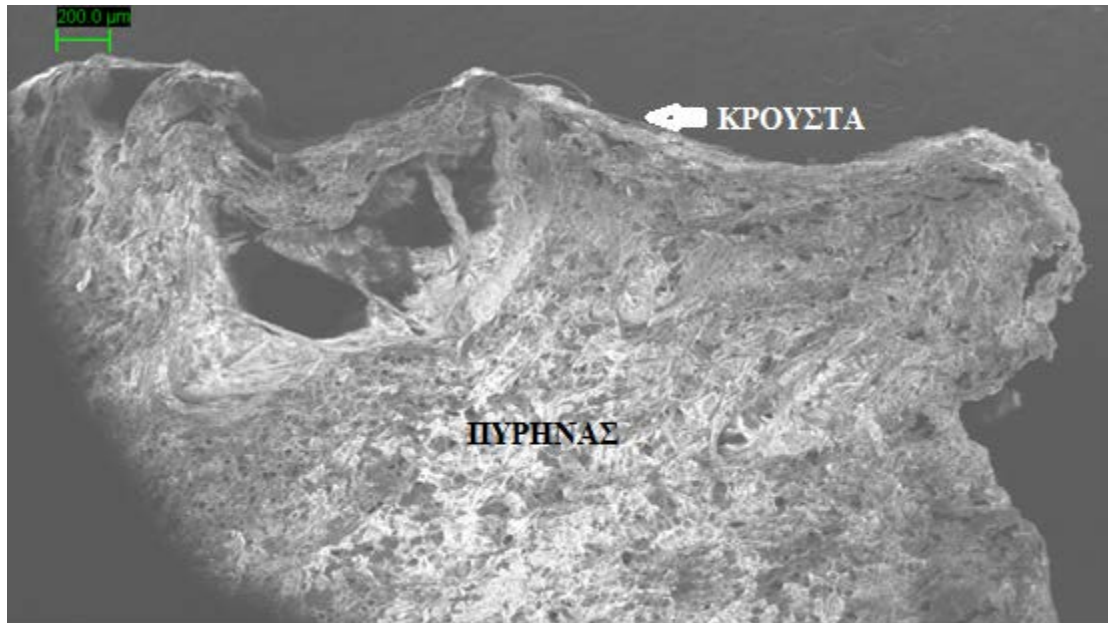


Σχήμα 28: Εγκάρσια τομή ωμού καρότου.

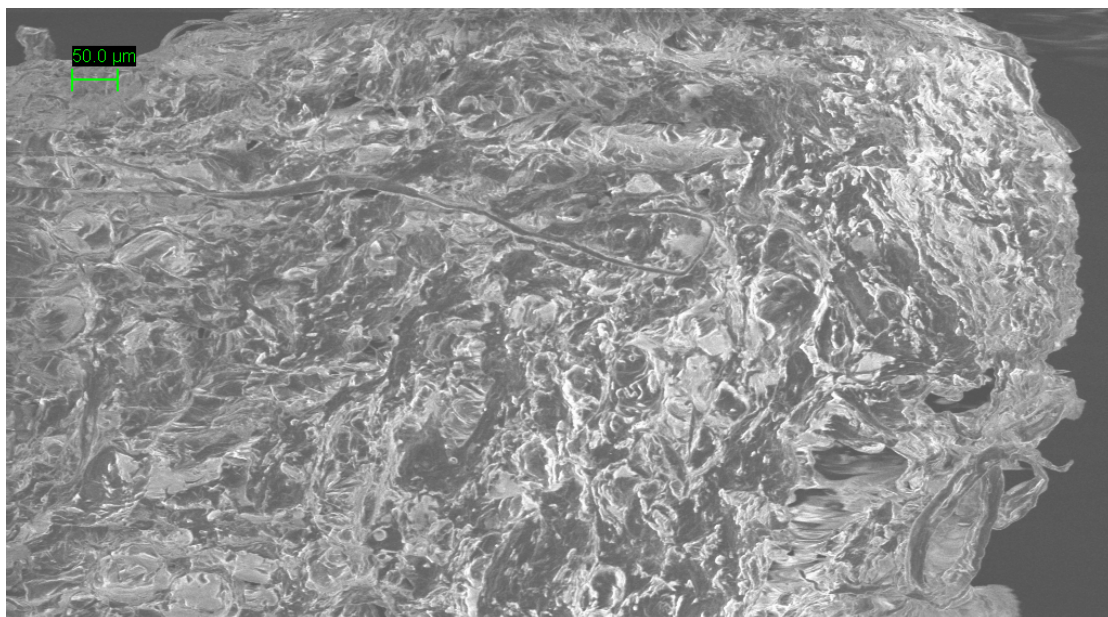


Σχήμα 29: Εγκάρσια τομή ωμού καρότου. Λεπτομέρεια.

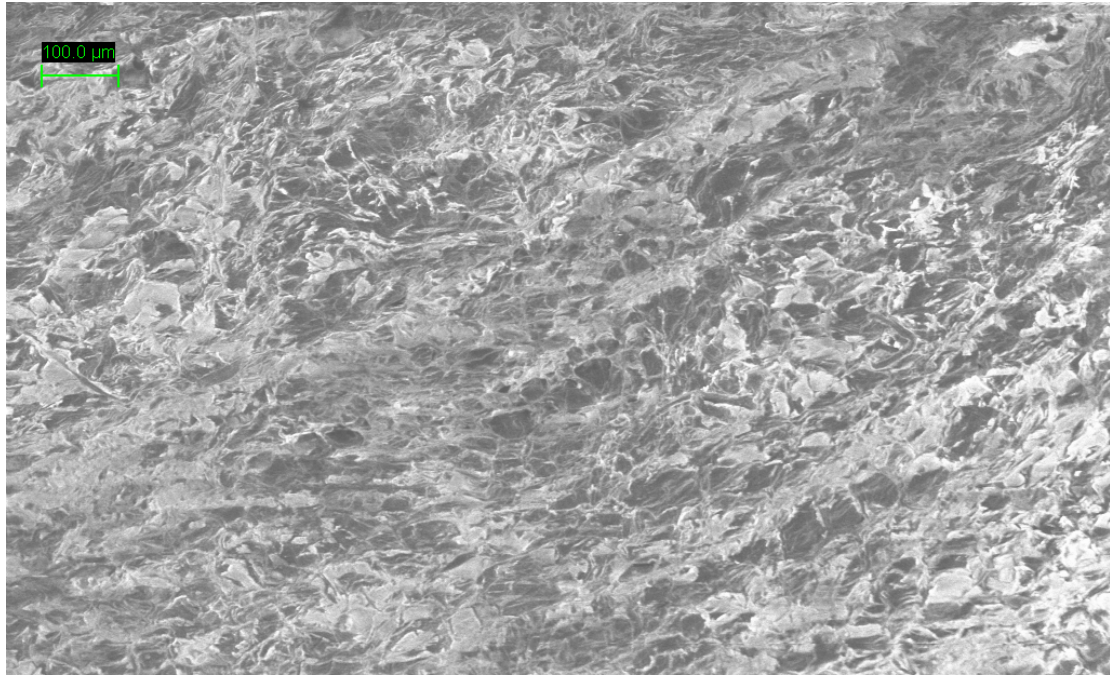
Η εγκάρσια τομή του τηγανισμένου καρότου (Σχήματα 30 και 31) παρουσιάζει παρόμοια μορφή με αυτή της πατάτας με μια περιοχή που διακρίνεται από την συρρίκνωση κυττάρων και οπές (κρούστα) και μια περιοχή που ομοιάζει περισσότερο με αυτή του ωμού καρότου. Η διάκριση μεταξύ του πυρήνα και της κρούστας δεν είναι τόσο ευδιάκριτη όσο αυτή της πατάτας (Σχήμα 15). Η επιφάνεια του τηγανισμένου καρότου (Σχήμα 32) παρουσιάζει μερικώς κατεστραμμένα κύτταρα (ενδεχομένως και από την κοπή).



Σχήμα 30: Εγκάρσια τομή τηγανισμένου καρότου. Διακρίνεται η κρούστα.



Σχήμα 31: Εγκάρσια τομή τηγανισμένου καρότου. Λεπτομέρεια.



Σχήμα 32: Επιφάνεια τηγανισμένου καρότου.

6. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν 4 διαφορετικά τρόφιμα φυτικής προέλευσης, υγρασίας 79 έως 94% και διαφορετικής δομής. Τεμάχια ίδιων διαστάσεων τηγανίστηκαν σε παρόμοιο –ίδιο προφίλ θερμοκρασίας-χρόνου και στο τέλος του τηγανίσματος παρουσίασαν διαφορετικές τιμές υγρασίας και λιποπεριεκτικότητας.

Μεταξύ των τροφίμων που εξετάστηκαν το καρότο και η πατάτα είχαν παρόμοια αρχική υγρασία και κυτταρική δομή και παρουσίασαν παρόμοια πρόσληψη ελαίου.

Η πατάτα και το καρότο είχαν τη μικρότερη συρρίκνωση και τη μικρότερη πρόσληψη ελαίου.

Η διαφορά στην περιεκτικότητα αμύλου μεταξύ των κυττάρων της πατάτας και του καρότου δεν φάνηκε να επηρεάζει την πρόσληψη του ελαίου.

Το κολοκύθι και η μελιτζάνα παρουσίασαν τη μεγαλύτερη πρόσληψη ελαίου.

Η πρόσληψη ελαίου φάνηκε να σχετίζεται με την απομάκρυνση της υγρασίας αλλά και με το ποσοστό συρρίκνωσης.

Ενδεχομένως οι δομικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά την απομάκρυνση της υγρασίας να σχετίζονται με το ποσοστό του ελαίου που προσλαμβάνεται.

7. Βιβλιογραφία

Ξερόγλωσση

- Aguilera J.M and Gloria H. (1997). Determination of Oil in Fried Potato Products by Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **45**, 781-785.
- Bogнар A. (1998). Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. *Grasas Aceites*, **49**, 250-260.
- Bouchon P. (2009). Understanding Oil Absorption During Deep-Fat Frying. *Advances in Food and Nutrition Research*, **57**, 209-234.
- Bouchon P. and Aguilera J.M. (2001). Microstructural analysis of frying potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*, **36**, 669-676.
- Bouchon P., Aguilera J.M. and Pyle D.L. (2003). Structure Oil-Absorption Relationships during Deep-Fat Frying. *Journal of Food Science*, **68**, 2711-2716.
- Bouchon P., Hollins P., Pearson M., Pyle D.L. and Tobin M.J. (2001). Oil Distribution in Fried Potatoes Monitored by Infrared Microspectroscopy. *Journal of Food Science*, **66**, 918-923.
- Bouchon P. and Pyle D.L. (2005). Modelling oil absorption during post-frying cooling I: Model development. *Food and Bioproducts Processing*, **83**, 253-260.
- Bradeen J.M. and Simon P.W (2007). Carrot. In: *Vegetables: Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*, Vol 5, (Kole C., Ed), pp 161-184, Springer, Berlin Hedelberg.
- Costa R.M., Oliveira F.A.R. and Boutcheva G. (2001). Structural changes and shrinkage of potato during frying. *International Journal of Food Science and Technology*, **36**, 11-23.
- Dana D. and Saguy I.S. (2006). Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, **128-130**, 267-272.
- Dobarganes G., Marquez-Ruiz G. and Velasco J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **102**, 521-528.
- Dueik V. and Bouchon P. (2011). Development of Healthy Low-Fat Snacks: Understanding the Mechanisms of Quality Changes During Atmospheric and Vacuum Frying. *Food Reviews International*, **27**, 408-432.
- Farinu A. and Baik O-D. (2006). Deep Fat Frying Of Foods-Transport Phenomena. *Food Reviews International*, **21**, 389-410.
- Farkas B.E., Singh R.P. and Rumsey T.R. (1996). Modeling Heat and Mass Transfer in Immersion Frying. I, Model Development. *Journal of Food Engineering*, **29**, 211-226.

- Frary A., Doganlar S. and Daunay M.C. (2007). Eggplant. In: *Vegetables II: Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*, Vol 2, (Kole C., Ed), pp 287-313, Springer, Berlin Heidelberg.
- 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 Tech*, **22**, 233-241, cited by Bouchon P., Aguilera J.M. and Pyle D.L. (2003).
- Grompone M.A. (2005). Sunflower Oil. In: *Bailey's Industrial Oil and Fats Products*, Vol 6, (Shahid F., Ed), pp 655-730, Wiley and Sons, Inc., New Jersey.
- James B. (2009). Advances in "wet" electron microscopy techniques and their application to the study of food structure. *Trends in Food Science and Technology*, **20**, 114-124.
- Kalab M., Allan-Wojtas P. and Miller S.S. (1995). Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. *Trends in Food Science and Technology*, **6**, 177-186.
- Kalogeropoulos N., Mylona A., Chiou A., Ioannou M.S. and Andrikopoulos N.K. (2007). Retention and distribution of natural antioxidants (a-tocopherol polyphenols and terpenic acids) after shallow frying of vegetables in virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, **40**, 1008-1017.
- Kalogianni E.P. and Papastergiadis E. (2014). Crust pore characteristics and their development during frying of French-fries. *Journal of Food Engineering*, **120**, 175-182.
- Keller C., Escher F. and Soms J. (1986). A method for localizing fat distribution in deep-fat fried potato products. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, **19**, 346-348, cited by Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. and Trystram G. (2008).
- Krokida M.K., Oreopoulou V. and Maroulis Z.B. (2000). Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. *Journal of Food Engineering*, **43**, 147-154.
- Leszczynski W. (1989). Potato tuber as a Raw Material for Processing and Technology, (Lisinska G. and Leszczynski W., Ed), pp 11-113, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York.
- Lim T.K. (2012). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*, Vol 2, pp 281-294, Springer, Netherlands.
- Lim T.K. (2013). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*, Vol 6, pp 370-388, Springer, Netherlands.
- Lisinska G. and Golubowska G. (2005). Structural changes of potato tissue during French fries production. *Food Chemistry*, **93**, 681-687, cited by Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. and Trystram G. (2008).
- McDonough C., Gomez M.H., Lee J.K., Waniska R.D. and Rooney L.W. (1993). Environmental scanning electron microscopy evaluation of tortilla

- chip microstructure during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, **58**, 199-203, cited by Bouchon P. and Aguilera J.M. (2001).
- Mellema M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, **14**, 364-373.
 - Miranda M.L. and Aguilera J.M. (2006). Structure and Texture Properties of Fried Potato Products. *Food Reviews International*, **22**, 173-201.
 - Moreira R.G. and Barrufet M.A. (1996). Spatial distribution of oil after deep-fat frying of tortilla chips from a stochastic model. *Journal of Food Engineering*, **27**, 279-290, cited by Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. and Trystram G. (2008).
 - Moreira R.G., Castell-Perez M.E. and Barrufet M. (1999). Deep Fat Frying: Fundamentals and Applications, pp 1-30, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg USA.
 - Ni H. and Datta A.K. (1999). Moisture, oil and energy transport during deep-fat frying of food materials, *Transactions of Institution of Chemical Engineers, Part C: Food and Bioproducts Processing*, **77**, 194-204, cited by Farinu A. and Baik O-D. (2006).
 - Orthefer F.T., Gurkin S. and Liu K. (2006). Dynamics of Frying, In: *Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*, (Erickson M.D., Ed), pp 223-244, AOCS Press, Illinois.
 - Pablista A.D. and Ojala J.C. (1997). Potatoes: Chip and Fresh Fry Processing. In: *Processing Vegetables: Science and Technology*, (Smith D.S., Cash J.N., Nip W-K. and Hui Y.H., Ed), pp 237-284, Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania.
 - Paul S., Mittal G.S. and Chinnan M.S. (1997). Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **37**, 635-662.
 - Pedreschi F. (2012). Frying of Potatoes: Physical, Chemical, and Microstructural Changes. *Drying Technology*, **30**, 707-725.
 - Pomeranz V. and Meloan C.E. (1987). *Food Analysis: Theory and Practice*, 2nd edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
 - Punja Z.K., Jayaraj J. and Wally O. (2007). Carrot. In: *Transgenic Crops IV: Biotechnology in Agriculture and Forestry*, (Pua E.C. and Davey M.R., Ed), pp 277-294, Springer, Berlin Heidelberg.
 - Rajam M.V and Kumar S.V. (2007). Eggplant. In: *Transgenic Crops IV: Biotechnology in Agriculture and Forestry*, (Pua E.C. and Davey M.R., Ed), pp 201-219, Springer, Berlin Heidelberg.
 - Reeve R.M. and Neel E.M. (1960). Microscopic structure of potato chips. *American Potato Journal*, **37**, 45-52, cited by Bouchon P. and Aguilera J.M. (2001).
 - Saguy I.S. and Dana D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, **56**, 143-152.

- Salunkhe D.K, Desai B.B. and Chavan J.K. (1989). Potatoes. In: Quality and Preservation of Vegetables, (Eskin N.A.M., Ed), pp 1-52, CRC Press, Inc., New York.
- Stier R.F. (2004). Frying as a science-An introduction. European Journal of Lipid Science and Technology, **106**, 715-721.
- Ufheil G. and Escher F. (1996). Dynamics of Oil Uptake during Deep-fat Frying of Potato Slices. Lebensm-Wiss u-Technol, **29**, 640-644, cited by Bouchon P. and Pyle D.L, (2005).
- USDA. (2014). United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26.
- Vitrac O., Trystram G. and Raoult-Wack A-L. (2000). Deep-fat frying of food: heat and mass transfer transformations and reactions inside the frying material. European Journal of Lipid Science and Technology, **102**, 529-538.
- Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. and Trystram G. (2008). Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. International Journal of Food Science and Technology, **43**, 1410-1423.

Ελληνική

- Ανδρικόπουλος Ν. (2010). Ανάλυση Τροφίμων: Θεωρία Μεθοδολογίας-Οργανολογίας και Εργαστηριακές Ασκήσεις, pp 77-84, Εκδόσεις Μπαστικέας, Αθήνα.
- Μπλούκας Ι.Γ. (2004). Επεξεργασία και Συντήρηση Τροφίμων, pp 203-217, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

8. Παράρτημα

Πίνακας Π1: Προσδιορισμός υγρασίας σε ωμά και τηγανισμένα τρόφιμα με τη μέθοδο της ξήρανσης σε φούρνο αέρα

Περιγραφή προϊόντος	Αρχικό βάρος (g)	Τελικό βάρος (g)	Υγρασία %	M.O
1η ωμή πατάτα	10,134	1,974	80,52	82,87
2η ωμή πατάτα	10,414	1,942	81,35	
3η ωμή πατάτα	9,626	1,277	86,74	
1ο ωμό κολοκύθι	8,919	0,416	95,34	94,17
2ο ωμό κολοκύθι	9,068	0,632	93,03	
3ο ωμό κολοκύθι	9,556	0,561	94,13	
1η ωμή μελιτζάνα	9,521	0,641	93,27	92,38
2η ωμή μελιτζάνα	8,454	0,644	92,38	
3η ωμή μελιτζάνα	7,177	0,611	91,48	
1ο ωμό καρότο	10,077	0,898	91,09	91,04
2ο ωμό καρότο	10,042	0,905	90,99	
3ο ωμό καρότο	10,089	0,905	91,03	
1η τηγανισμένη πατάτα	9,026	3,016	66,58	66,58
2η τηγανισμένη πατάτα	10,226	3,570	65,09	
3η τηγανισμένη πατάτα	9,681	3,091	68,07	
1ο τηγανισμένο κολοκύθι	3,448	1,186	65,60	66,44
2ο τηγανισμένο κολοκύθι	3,250	1,176	63,81	
3ο τηγανισμένο κολοκύθι	3,717	1,123	69,79	
1η τηγανισμένη μελιτζάνα	4,761	2,526	46,95	45,66
2η τηγανισμένη μελιτζάνα	4,790	2,591	45,92	
3η τηγανισμένη μελιτζάνα	4,474	2,500	44,13	
1ο τηγανισμένο καρότο	5,207	1,863	64,23	63,61
2ο τηγανισμένο καρότο	5,482	2,062	62,39	
3ο τηγανισμένο καρότο	5,247	1,877	64,22	

Πίνακας Π2: Προσδιορισμός υγρασίας σε ωμά και τηγανισμένα τρόφιμα με την μέθοδο της λυοφιλίωσης.

Περιγραφή προϊόντος	Αρχικό βάρος (g)	Τελικός βάρος (g)	Υγρασία %	M.O
1η ωμή πατάτα	18,294	3,114	82,98	83,59
2η ωμή πατάτα	17,832	3,209	82,00	
3η ωμή πατάτα	16,639	2,366	85,78	
1ο ωμό κολοκύθι	13,292	0,766	94,24	93,17
2ο ωμό κολοκύθι	14,287	1,082	92,43	
3ο ωμό κολοκύθι	14,610	1,044	92,85	
1η ωμή μελιτζάνα	9,375	0,672	92,83	91,24
2η ωμή μελιτζάνα	7,583	0,721	90,50	
3η ωμή μελιτζάνα	8,449	0,811	90,40	
1ο ωμό καρότο	17,954	2,102	88,29	89,03
2ο ωμό καρότο	18,322	1,967	89,26	
3ο ωμό καρότο	18,029	1,889	89,52	
1η τηγανισμένη πατάτα	10,468	3,929	62,46	62,73
2η τηγανισμένη πατάτα	10,349	3,764	63,63	
3η τηγανισμένη πατάτα	10,094	3,825	62,11	
1ο τηγανισμένο κολοκύθι	4,103	1,574	61,64	57,95
2ο τηγανισμένο κολοκύθι	4,542	2,087	54,05	
3ο τηγανισμένο κολοκύθι	4,777	1,999	58,15	
1η τηγανισμένη μελιτζάνα	5,246	3,351	36,13	32,84
2η τηγανισμένη μελιτζάνα	5,722	3,958	30,82	
3η τηγανισμένη μελιτζάνα	6,119	4,187	31,57	
1ο τηγανισμένο καρότο	7,012	2,712	61,32	59,85
2ο τηγανισμένο καρότο	7,414	2,775	62,57	
3ο τηγανισμένο καρότο	7,204	3,194	55,67	

Πίνακας Π3: Περιεκτικότητα ελαίου σε ωμά και τηγανισμένα τρόφιμα

Περιγραφή προϊόντος	Αρχικό βάρος τροφίμου (g)	Τελικό βάρος τροφίμου (g)	Αρχικό βάρος φιάλης (g)	Τελικό βάρος φιάλης (g)	Λίπος (υ.β) (g/100g)	Λίπος (ξ.β) (g/100g)	Μ.Ο (υ.β)	Μ.Ο (ξ.β)
1 ^η ω.π	18,294	3,114	71,252	71,258	0,03	0,20	0,04	0,27
2 ^η ω.π	17,832	3,209	78,015	78,024	0,05	0,26		
3 ^η ω.π	16,639	2,366	73,429	73,437	0,05	0,36		
1 ^ο ω.κολ	13,292	0,766	74,206	74,212	0,04	0,71	0,05	0,68
2 ^ο ω.κολ	14,287	1,082	76,409	76,416	0,05	0,65		
3 ^ο ω.κολ	14,610	1,044	74,276	74,284	0,05	0,69		
1 ^η ω.μ	9,375	0,672	71,348	71,356	0,09	1,22	0,10	1,20
2 ^η ω.μ	7,583	0,721	73,437	73,444	0,09	0,97		
3 ^η ω.μ	8,449	0,811	74,344	74,355	0,13	1,41		
1 ^ο ω.καρ.	17,954	2,102	73,417	73,448	0,17	1,49	0,14	1,27
2 ^ο ω.καρ.	18,322	1,967	71,250	71,272	0,12	1,12		
3 ^ο ω.καρ.	18,029	1,889	78,025	78,048	0,13	1,21		
1 ^η τ.π	10,468	3,929	107,379	108,307	8,87	23,62	10,66	28,58
2 ^η τ.π	10,349	3,764	120,115	121,160	10,10	27,76		
3 ^η τ.π	10,094	3,825	105,646	106,960	13,02	34,35		
1 ^ο τ.κολ	4,103	1,574	71,297	72,148	20,75	54,09	24,72	58,55
2 ^ο τ.κολ	4,542	2,087	74,278	75,570	28,44	61,88		
3 ^ο τ.κολ	4,777	1,999	73,442	74,635	24,97	59,66		
1 ^η τ.μ	5,246	3,351	71,325	74,029	51,54	80,70	57,01	84,82
2 ^η τ.μ	5,722	3,958	74,225	77,429	55,99	80,94		
3 ^η τ.μ	6,119	4,187	73,381	77,267	63,51	92,82		
1 ^ο τ.καρ	7,012	2,712	74,171	74,755	8,32	21,52	11,59	28,82
2 ^ο τ.καρ	7,414	2,775	75,445	76,380	12,61	33,69		
3 ^ο τ.καρ	7,204	3,194	76,317	77,315	13,85	31,25		

ω.π = ωμή πατάτα, ω.κολ = ωμό κολοκύθι, ω.μ = ωμή μελιτζάνα,

ω.καρ = ωμό καρότο, τ.π = τηγανισμένη πατάτα, τ.κολ = τηγανισμένο κολοκύθι,

τ. μ = τηγανισμένη μελιτζάνα, τ.καρ = τηγανισμένο καρότο

Πίνακας Π4: Πάχος (mm) και μέσο πάχος ωμών και τηγανισμένων φυτικών τροφίμων

Περιγραφή προϊόντος	Πάχος (mm)										Μ.Ο
Ωμή πατάτα	9,51	9,4	9,17	9,85	9,55	9,33	9,29	9,43	9,29		9,42
Τηγανισμένη πατάτα	8,22	7,82	7,5	7,83	8,83	8,85	8,45	8,12	8,51	8,82	8,30
Ωμό κολοκύθι	9,14	9,35	9,37	9,33							9,30
Τηγανισμένο κολοκύθι	6,47	6,74	5,68	4,82	6,06	6,28					6,01
Ωμή μελιτζάνα	8,24	8,25	8,14	8,17	6,8	8,27	7,44	7,43	7,43	7,02	7,72
Τηγανισμένη μελιτζάνα	4,46	4,19	3,37	3,61	3,5	4,86	4,94	4,23	7,29	5,02	4,55
Ωμό καρότο	9,12	9,32	9,54	9,66	10,64	10,65	10,64	10,65	10,14		10,04
Τηγανισμένο καρότο	8,76	8,42	8,61	8,71	8,88	8,01	8,22	8,28			8,49