



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επίδραση της μεθόδου ξήρανσης στη διαβροχή και απορρόφηση λαδιού
τηγανητής πατάτας

Πολυδώρου Μυρσίνη, Σουγάρης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη 2014

Επίδραση της μεθόδου ξήρανσης στη διαβροχή και απορρόφηση λαδιού
τηγανητής πατάτας

Πολυδώρου Μυρσίνη, Σουγάρης Δημήτριος

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

Ημερομηνία

9/2/2015

Εισηγητές 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. Τσιόπτσια Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθεια του στην διεκπεραίωση των πειραμάτων.

Επίδραση της μεθόδου ξήρανσης στη διαβροχή και απορρόφηση λαδιού τηγανιτής πατάτας

Πολυδώρου Μυρσίνη, Σουγάρης Δημήτριος

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

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης πριν το τηγάνισμα με διαφορετικούς τρόπους στη διαβροχή και στην απορρόφηση του λαδιού στην τηγανιτή πατάτα. Συνοπτικά πατάτες με παρόμοια χαρακτηριστικά αφού κόπηκαν σε ίδιο μέγεθος (1cm*1cm*6cm) ξηράνθηκαν υπό ίδιες συνθήκες αλλά με διαφορετικά αέρια, μίγμα αέρα (79% N₂, 21% O₂) και CO₂. Έπειτα τηγανίσθηκαν υπό το ίδιο θερμοκρασιακό προφίλ και θερμοκρασία εμβάπτισης 170 °C για 10 min. Τέλος αναλύσεις έγιναν ώστε να συγκριθεί η λιποπεριεκτικότητα, η υγρασία καθώς και χαρακτηριστικά της μικροδομής και της επιφάνειας των τηγανιτών πατατών τόσο μεταξύ των ξηραμένων δειγμάτων με τους δυο διαφορετικούς τρόπους αλλά και με δείγμα μάρτυρα το οποίο δεν έχει υποστεί καθόλου ξήρανση. Μέσω μετρήσεων με FTIR διαπιστώθηκε πως η μέθοδος ξήρανσης επηρεάζει την κατανομή/προσανατολισμό των μορίων στην επιφάνεια της κρούστας. Επίσης η μέθοδος της ξήρανσης επηρεάζει τη γωνία επαφής λαδιού/πατάτας και το μέγεθος των πόρων της κρούστας. Παρόλα αυτά οι διαφορές αυτές δεν φάνηκε να επηρεάζουν την λιποπεριεκτικότητα των τηγανιτών πατατών η οποία ήταν ίδια μεταξύ των δειγμάτων που ξηράνθηκαν με διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης. Όπως φαίνεται και στην υπόλοιπη βιβλιογραφία παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην λιποπεριεκτικότητα των πατατών, που είχαν ξηρανθεί σε σύγκριση με αυτές που δεν είχαν ξηρανθεί, η οποία όμως διαφορά αυτή δεν μπόρεσε να συσχετιστεί με τις ιδιότητες της επιφάνειας και της κρούστας που μελετήθηκαν.

Περιεχόμενα

1. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	9
2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Πρώτων Υλών.....	9
2.1.1 Πατάτα.....	9
2.1.2 Ηλιέλαιο	11
2.2 Τηγάνισμα	11
2.2.1 Γενικά	11
2.2.2 Διεργασία τηγανίσματος.....	13
2.3 Μεταβολές που συμβαίνουν στα τρόφιμα κατά το τηγάνισμα.....	15
2.3.1 Γενικά	15
2.3.2 Αποβολή υγρασίας	16
2.3.3 Απορρόφηση ελαίου.....	17
2.3.3.1 Γενικά	17
2.3.3.2 Μηχανισμοί απορρόφησης ελαίου	18
2.3.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση ελαίου.....	20
2.4 Ξήρανση	24
2.4.1 Γενικά	24
2.4.2 Μέθοδοι ξήρανσης	24
2.4.3 Ξήρανση πριν το τηγάνισμα.....	26
2.5 Μεταβολές που παρατηρούνται κατά την διεργασία τηγανίσματος.....	30
2.5.1 Μεταβολές περιεχόμενης υγρασίας.....	30
2.5.2 Μεταβολές λιποπεριεκτικότητας.....	30
2.5.3 Μεταβολές στην μικροδομή της κρούστας	31
2.5.4 Μεταβολές στις ιδιότητες της επιφάνειας της πατάτας.....	30
3. Σκοπός της εργασίας	32

4. Υλικά και μέθοδοι	32
4.1 Υλικά – Όργανα	32
4.1.1 Πρώτη ύλη.....	32
4.1.2 Αντιδραστήρια.....	33
4.1.3 Όργανα	33
4.2 Προετοιμασία δειγμάτων για τα πειράματα ξήρανσης-τηγανίσματος	33
4.2.1 Ξήρανση Πατατών.....	34
4.2.2 Τηγάνισμα	34
4.3 Μέθοδοι ανάλυσης	35
4.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας	35
4.3.2 Προσδιορισμός ελαίου	35
4.3.3 Φασματοσκοπία υπερύθρου FTiR.....	36
4.3.4 Προσδιορισμός γωνιών επαφής.....	36
4.3.5 Μέτρηση πόρων με τη μέθοδο της τριχοειδούς διεύθυνσης.....	37
5. Αποτελέσματα – Συζήτηση	37
5.1 Επίδραση της ξήρανσης στις ιδιότητες της επιφάνειας της πατάτας.....	37
5.1.1 Χαρακτηρισμός επιφάνειας με φασματοσκοπία υπερύθρου FTIR.....	37
5.1.2 Μέτρηση γωνίας επαφής	41
5.2 Επίδραση ξήρανσης και τηγανίσματος στην υγρασία της πατάτας.....	45
5.3 Επίδραση της ξήρανσης και του τηγανίσματος στα χαρακτηριστικά δομής της πατάτας	48
5.3.1 Μεγέθη πόρων της πατάτας.....	49
5.4 Επίδραση ξήρανσης στην απορρόφηση ελαίου.....	53
6. Συμπεράσματα.....	57
7. Βιβλιογραφία.....	58
8. Παράρτημα.....	61

Εισαγωγή

Οι πατάτες (*Solanum tuberosum*) είναι μια από τις πιο μεγάλες παγκοσμίως γεωργικές καλλιέργειες και καταναλώνονται καθημερινά από εκατομμύρια ανθρώπους διαφορετικού πολιτιστικού υπόβαθρου (Pedreschi and Moyano, 2005).

Η κύρια χρήση των πατατών μέχρι τον περασμένο αιώνα ήταν το οικιακό μαγείρεμα, στις μέρες μας πλέον οι πατάτες είναι μια σημαντική πρώτη ύλη που έχει χρήση για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών τροφίμων. Η επεξεργασία των πατατών προς τηγανιτές πατάτες ή πατατάκια απέκτησε μεγάλη οικονομική σημασία στις ΗΠΑ μετά το τέλος του 1940 και περίπου 25 χρόνια αργότερα στην Ευρώπη. Το 1990, το ήμισυ της ετήσιας συγκομιδής πατάτας των ΗΠΑ επεξεργαζόταν σε αυτά τα είδη των προϊόντων. Παράλληλα με την εξέλιξη αυτή, η «επιστήμη πατάτας» αναπτύχθηκε για την καλύτερη κατανόηση των συσχετίσεων μεταξύ των ιδιοτήτων της πατάτας, τη συμπεριφορά κατά την επεξεργασία και την επιρροή της για την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Reimerdes and Franke, 2006).

Το βαθύ τηγάνισμα, είναι μια από τις παλαιότερες και πιο συνήθεις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στη προετοιμασία φαγητού. Η διαδικασία αρχικά αναπτύχθηκε γύρω από την περιοχή της Μεσογείου εξαιτίας της χρήσης του ελαιολάδου εκεί, αλλά σήμερα πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα υπόκεινται σε βαθύ τηγάνισμα λόγω του συνδυασμού μοναδικής γεύσης-υφής που αποκτούν τα τρόφιμα. Βέβαια, τα τηγανητά προϊόντα έχουν μεγάλη σημασία για την βιομηχανία τροφίμων εξαιτίας της δημοτικότητας μεταξύ των καταναλωτών και των τεράστιων ποσοτήτων τηγανητών τροφίμων και ελαίων που χρησιμοποιούνται σε εμπορικό επίπεδο. Μια κρίσιμη πτυχή των τροφίμων βαθέως τηγανίσματος είναι το υψηλό ποσοστό απορρόφησης λαδιού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, φθάνοντας σε μερικές περιπτώσεις το 40% του συνολικού βάρους του προϊόντος. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η υπερβολική κατανάλωση λίπους είναι η βασική διατροφική συνήθεια που οδηγεί στη στεφανιαία νόσο και ίσως σε καρκίνου του στήθους, του παχέος εντέρου, και προστάτη, επιβάλλοντας συναγερμό για τη κατανάλωση του από τον άνθρωπο (Bouchon, 2009).

Κατά τη διάρκεια του βαθέως τηγανίσματος το νερό στο φλοιό του τροφίμου εξατμίζεται. Προκειμένου η ροή του ατμού να είναι συνεχής, επαρκή ποσότητα νερού μεταφέρεται από τον πυρήνα του τροφίμου στο φλοιό και ο φλοιός παραμένει διαπερατός. Το γεγονός ότι ο ατμός αφήνει κενό κατά την έξοδο του και εισχωρεί το λίπος αργότερα, είναι ο λόγος γιατί η πρόσληψη λίπους

καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το αρχικό ποσοστό υγρασίας του τροφίμου. Εφόσον το λάδι μπορεί να διεισδύσει μόνο όπου έχει εξατμισθεί το νερό, διείσδυση του λαδιού παρουσιάζεται μόνο εκεί όπου η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, δηλαδή στη κρούστα. Έχει αποδειχθεί ότι το λάδι δύσκολα διεισδύει στο πυρήνα και ότι η μικροδομή του φλοιού είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την απορρόφηση λαδιού (Mellema, 2003).

Η κρούστα των τηγανιτών πατατών είναι το αποτέλεσμα πολλών αλλαγών που συμβαίνουν 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, ζελατινοποίηση του αμύλου, τη μετουσίωση των πρωτεϊνών, την εξάτμιση του νερού, την ταχεία αφυδάτωση των κυττάρων που βρίσκονται στην σχηματιζόμενη κρούστα και την ίδια την πρόσληψη του ελαίου (Dueik and Bouchon, 2011).

Η έκθεση του τροφίμου σε διεργασίες πριν το τηγάνισμα είχε επίσης σημαντικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, η ξήρανση πριν το τηγάνισμα σε πατατάκια μείωσε τη περιεκτικότητά τους σε λάδι, και διαπιστώθηκε ότι αυτό σχετίζεται με τη μείωση της αρχικής υγρασίας. Η ξήρανση πριν το τηγάνισμα επίσης μείωσε σημαντικά τη πρόσληψη λαδιού σε φέτες πατάτας. Οι πιθανές εξηγήσεις για τη μείωση αυτή περιλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια, μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία, εξομάλυνση επιφάνειας και δομικές αλλαγές στο φλοιό. Από την άλλη πλευρά, ζεμάτισμα πριν από το βαθύ τηγάνισμα αύξησε τη περιεκτικότητα λαδιού σε φέτες πατάτας, πιθανώς λόγω της επιφανειακής διαβροχής. Ωστόσο μέχρι και σήμερα, οι περισσότερες τηγανιτές τροφές περιέχουν ακόμη σημαντικές ποσότητες λαδιού (Dana and Saguy, 2006).

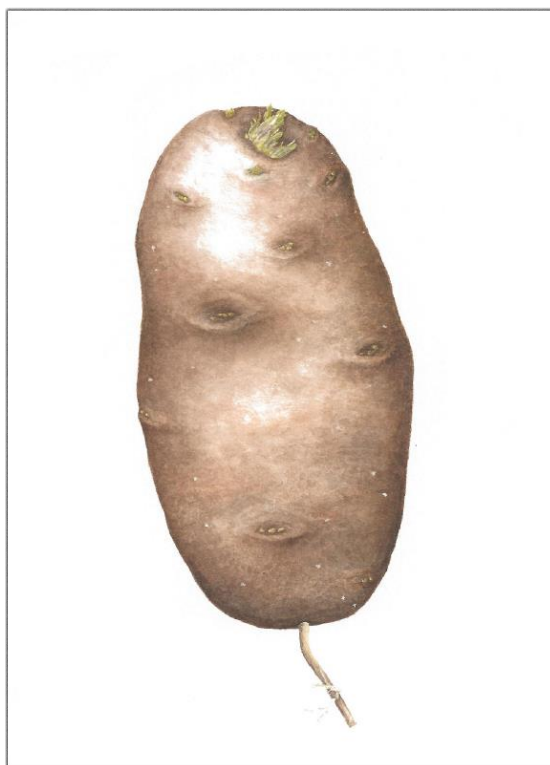
Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης της μεθόδου ξήρανσης στα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και της δομής της κρούστας, τη περιεχόμενη υγρασία και πως επηρεάζουν την απορρόφηση λαδιού της τηγανιτής πατάτας.

1. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Πρώτων Υλών

2.1.1 Πατάτα

Η πατάτα (*Solanum tuberosum* L.) Σχήμα 1 προέρχεται από τις Άνδεις της Νότιας Αμερικής όπου αποτελούσε ένα σημαντικό τρόφιμο για 8000 χρόνια. Προσαρμόζεται πολύ καλά στις κρύες θερμοκρασίες που επικρατούν στα βουνά της Χιλής, του Περού και της Βολιβίας (Bradshaw and Bonierbale, 2010). Η πατάτα είναι το τρίτο σημαντικότερο τρόφιμο καλλιέργειας στον κόσμο μετά από το σιτάρι και το ρύζι με κονδύλους, με φρέσκο βάρος 309 εκατομμύρια τόνους που παρήχθησαν το 2007 από 18.5 εκατομμύρια εκτάρια γης (Bradshaw and Bonierbale, 2010).



Σχήμα 1: 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, 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) τα κύρια συστατικά της πατάτας είναι αυτά που φαίνονται στον Πίνακα 1. Η πατάτα πρέπει να μαγειρευτεί εξαιτίας της μη δυνατής πέψης του μη ζελατινοποιημένου αμύλου. Τέτοιο μαγείρεμα είναι συχνά το ψήσιμο, βράσιμο, μαγείρεμα στον ατμό, βαθύ τηγάνισμα, ή μαγείρεμα στο φούρνο μικροκυμάτων.

Πίνακας 1: Χημική σύσταση ωμής πατάτας

Θρεπτική αξία ανά 100 g (3.5 oz)	
Ενέργεια	321 kJ (77 kcal)
Υδατάνθρακες	17.47 g
Άμυλο	15.44 g
Φυτικές ίνες	2.2 g
Λίπος	0.1 g
Πρωτεΐνη	2 g
Βιταμίνες	
Θειαμίνη (B1)	(7%) 0.08 mg
Ριβοφλαβίνη (B2)	(3%) 0.03 mg
Νιασίνη (B3)	(7%) 1.05 mg
Παντοθενικό οξύ(B5)	(6%) 0.296 mg
Βιταμίνη Β6	(23%) 0.295 mg
Φυλλικό οξύ (B9)	(4%) 16 μg
Βιταμίνη C	(24%) 19.7 mg
Βιταμίνη E	(0%) 0.01 mg
Βιταμίνη K	(2%) 1.9 μg
Ιχνοστοιχεία	
Ασβέστιο	(1%) 12 mg
Σίδηρο	(6%) 0.78 mg
Μαγνήσιο	(6%) 23 mg
Μαγγάνιο	(7%) 0.153 mg
Φώσφορο	(8%) 57 mg
Κάλιο	(9%) 421 mg
Νάτριο	(0%) 6 mg
Ψευδάργυρος	(3%) 0.29 mg
Άλλα συστατικά	
Νερό	75 g

(USDA, 2014)

Η εμπορική αξία της πατάτας αυξάνεται σημαντικά όταν επεξεργάζεται σε βρώσιμα προϊόντα που έλκουν τους καταναλωτές ως προς τη γεύση, την υφή, την εμφάνιση. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο μέρος επεξεργασμένων προϊόντων πατάτας είναι τα πατατάκια (τσιπς), τηγανιτές πατάτες, άλλα κατεψυγμένα προϊόντα, ακολουθούνται από αφυδατωμένα προϊόντα, διατηρημένα με απλή ψύξη, αποφλοιωμένες πατάτες και κονσερβοποιημένες πατάτες. Η βιομηχανική παραγωγή των τσιπς που

ξεκίνησε στη δεκαετία του 1920 και των τηγανιτών πατατών στη δεκαετία του 1950, έχει εξελιχθεί από τότε σε μια παγκόσμια βιομηχανία που εξακολουθεί να επεκτείνεται (Bradshaw and Bonierbale, 2010).

2.1.2 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 για την εξαγωγή του ηλιέλαιου (Shahidi, 2005).

Το ηλιέλαιο λαμβάνεται από τον *Helianthus annuus* καλλιεργείται κυρίως στην ΕΣΣΔ, Αργεντινή, τη Δυτική και την Ανατολική Ευρώπη, την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Το ηλιέλαιο κανονικά περιέχει 60-75% λινολεϊκό οξύ, > 90% συνδυασμένο ελαϊκό και λινολεϊκό οξύ, και σχεδόν καθόλου λινολενικό οξύ (Shahidi, 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 σαλτσών (Shahidi, 2005).

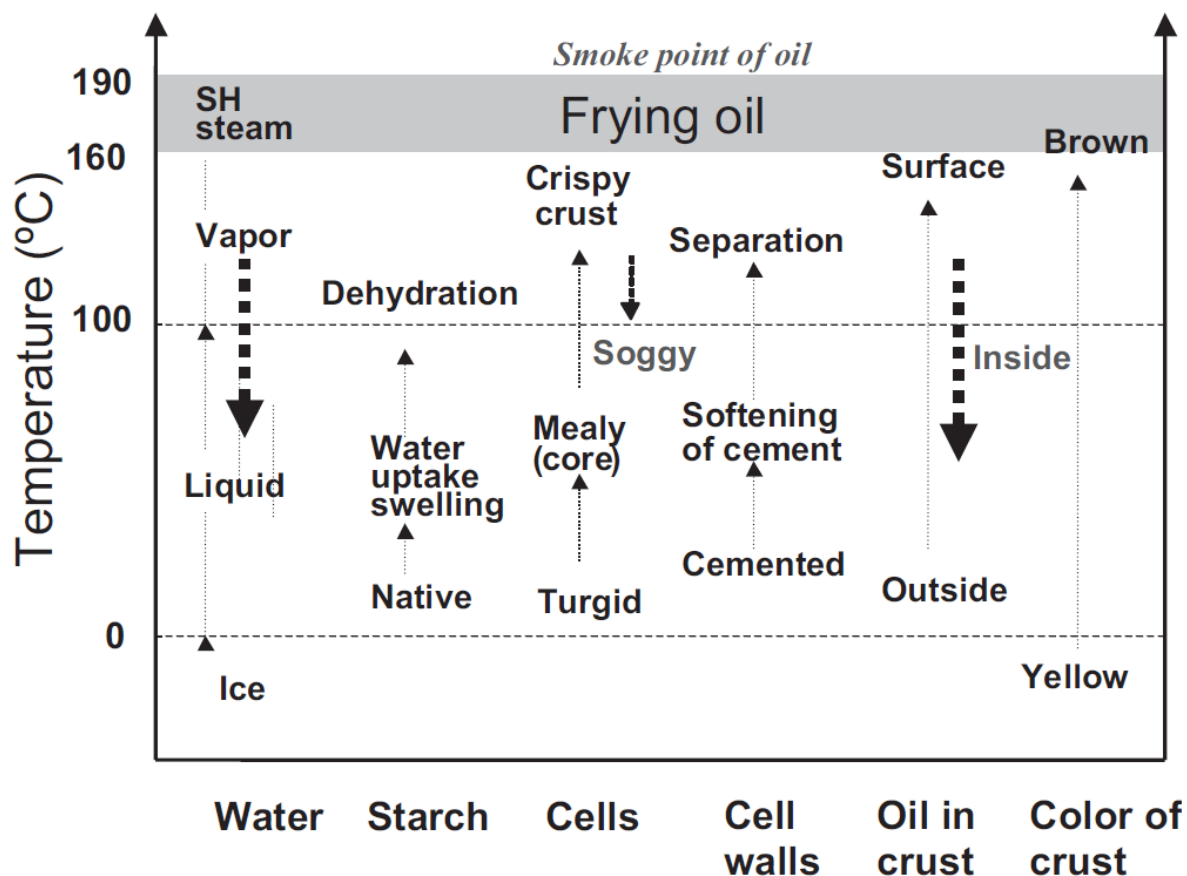
2.2 Τηγάνισμα

2.2.1 Γενικά

Το τηγάνισμα είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους προετοιμασίας της τροφής. Βελτιώνει την οργανοληπτική ποιότητα των τροφίμων με σχηματισμό ενώσεων αρώματος, ελκυστικού χρώματος, κρούστας και υφής. Το τηγάνισμα, επίσης, βελτιώνει την υγιεινή των τροφίμων με την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών και ενισχύει τη πεπτικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών (Bognar, 1998).

Το τηγάνισμα υποθετικά έχει τις ρίζες του στην Κίνα, όπου τα τρόφιμα προ-μαγειρεύονταν 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 μια πρώιμη προσπάθεια για τηγάνισμα (Stier, 2004).



Σχήμα 2: Φυσικοχημικές και δομικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά το τηγάνισμα

(Miranda and Aguilera, 2006)

Ένα συνδυασμός των φυσικών, χημικών, και δομικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά το τηγάνισμα της πατάτας λόγω της θερμοκρασίας συνοψίζονται στο Σχήμα 2. Σε περίπτωση κατεψυγμένων προϊόντων, το νερό αλλάζει από τη στερεά στην υγρή φάση σε όλο το κομμάτι της πατάτας και έπειτα σε ατμό στα εξωτερικά, ζεστά στρώματα. Μετά την απομάκρυνση από τη φριτέζα, ο ατμός συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή. Η θέρμανση μέχρι και 100 °C, προκαλεί αλλαγές στο άμυλο και τα κύτταρα παρόμοιες με εκείνες που παρατηρήθηκαν στο μαγείρεμα της πατάτας. Οι κόκκοι αμύλου υφίστανται ζελατινοποίηση γύρω στους 60-70 °C (δηλαδή, απορροφούν νερό και διογκώνονται μέσα στα κύτταρα). Σε παρόμοιο φάσμα θερμοκρασίας (60-80 °C), οι μεσαίες στιβάδες μεταξύ των

κυττάρων διασπώνται και τα κύτταρα διαχωρίζονται δίνοντας τη λεγόμενη αλευρώδη υφή. Έκθεση σε θερμοκρασίες άνω των 100 °C προκαλεί τους κόκκους αμύλου και τα κύτταρα που βρίσκονται στο σχηματισμό της κρούστας να αφυδατώνονται. Το έλαιο μπορεί στη συνέχεια να διεισδύσει σε ρωγμές στο φλοιό, αλλά ο σημαντικότερος εμποτισμός λαμβάνει χώρα μετά το τηγάνισμα κατά την ψύξη. Το χρώμα της επιφάνειας των πατατών αλλάζει σταδιακά με τη θερμοκρασία σε χρυσοκίτρινο και αργότερα σε καφέ. Η παρατεταμένη χρήση του ελαίου σε υψηλές θερμοκρασίες και με την παρουσία του αέρα οδηγεί σε πολλές αντιδράσεις όπως υδρόλυση, οξειδωση, πολυμερισμό, κ.λπ. (Miranda and Aguilera, 2006).

Αν και το τηγάνισμα είναι μια μέθοδος μαγειρέματος που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο από τη βιομηχανία, πλανόδιους πωλητές, και από καταναλωτές να παράγουν μοναδικές γεύσεις και υφές, η μελέτη του ως επεξεργασία τροφίμων από ειδικούς τροφίμων είχε παραμεληθεί μέχρι περίπου είκοσι χρόνια πριν. Το τηγάνισμα μπορεί να είναι συνεχές ή ανά παρτίδες και μπορεί να περιλαμβάνει εμβάπτιση του τροφίμου σε καυτό λάδι (βαθύ τηγάνισμα) ή έκθεση της επιφάνειας του σε καυτό λάδι (ρηχό). Το τηγάνισμα υπό κενό ή με πίεση χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες εφαρμογές όπως το τηγάνισμα των φρούτων και των λαχανικών που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση των υδατανθράκων. Στην περίπτωση των τηγανητών πατατών, οι συνθήκες τηγανίσματος (δηλαδή, υψηλές θερμοκρασίες και η χρήση ελαίου ως μέσο τηγανίσματος), μπορεί να δώσουν ένα μοναδικό προϊόν σύνθετης δομής, δηλαδή, ένα υγρό πυρήνα που περιέχει μαγειρεμένα αλευρώδη κύτταρα περιτυλιγμένα με μια τραγανή, λιπαρή, και αφυδατωμένη κρούστα που συμβάλλει στη δομική ακεραιότητα (Miranda and Aguilera, 2006).

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία του λαδιού έχει αρνητική επίδραση στην υγρασία των τηγανητών πατατών. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία τηγανίσματος, η περιεκτικότητα σε υγρασία για τον ίδιο χρόνο τηγανίσματος μειώνεται επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας καταλήγει σε μία υψηλότερη κινητική ενέργεια για τα μόρια του νερού που οδηγεί σε πιο γρήγορη απώλεια υγρασίας σε μορφή ατμού (Farinu and Baik, 2005).

2.2.2 Διεργασία 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 ευρείας χρήσης του ελαιολάδου εκεί, αλλά σήμερα πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα υπόκεινται σε βαθύ τηγάνισμα λόγω του μοναδικού συνδυασμού αρώματος και υφής που προσδίδεται στα τρόφιμα (Bouchon, 2009). Το

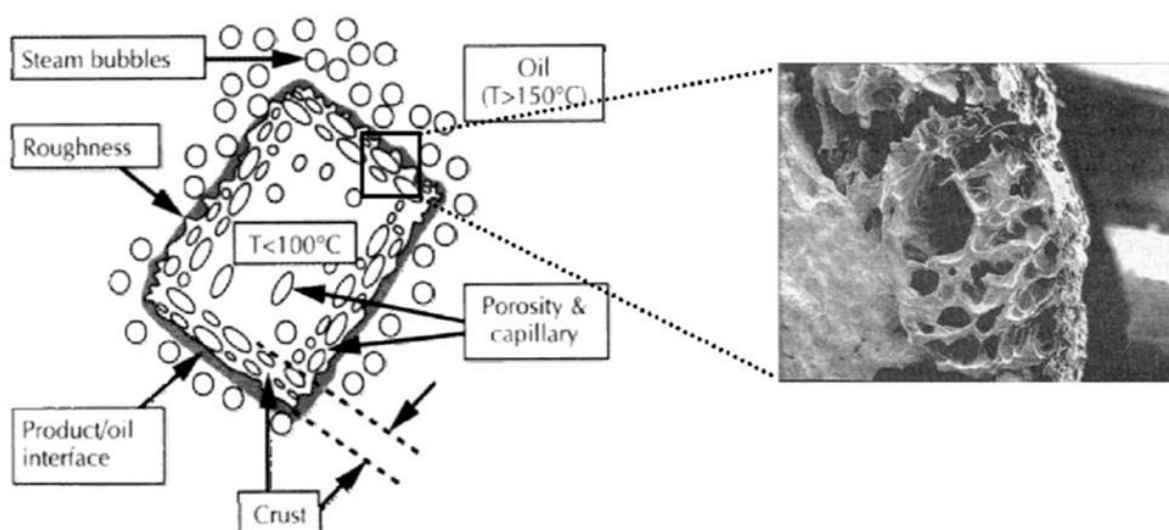
βαθύ τηγάνισμα είναι η βύθιση ενός τροφίμου μέσα σε λίπος ή έλαιο που θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού του νερού και είναι μια πολύ γρήγορη διαδικασία ξήρανσης κατά την οποία λαμβάνουν χώρα πολλά ενδιαφέροντα φαινόμενα: γρήγορο μαγείρεμα, αντιδράσεις μη ενζυμικής αμαύρωσης και ταχεία ανάπτυξη κρούστας,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

Η διαδικασία μπορεί να χωριστεί 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, 2005).

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 3. 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 βαθύωσ 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 3: Σχηματική αποτύπωση τροφίμου κατά τη διάρκεια τηγανίσματος (Αριστερά) Ηλεκτρονική μικροσκοπηση κρούστας τηγανιτής πατάτας (Δεξιά)

(Mellema, 2003)

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 υδρατμό και την μετακίνηση του ελαίου εντός του τροφίμου (Bouchon, 2009).

Θερμική επεξεργασία σε πατάτες με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία επιφέρει ζελατινοποίηση του αμύλου αλλά και δομικές αλλαγές στα κύτταρα του τοιχώματος και στη μεσαία στοιβάδα του ιστού

της πατάτας. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, το κυτταρικό τοίχωμα διαστέλλεται και γίνεται επίσης πιο πυκνό και άκαμπτο. Επιπλέον, συμβαίνει υποβάθμιση της πηκτίνης στη μεσαία στοιβάδα που είναι πλούσια σε πηκτίνη, έχοντας σαν αποτέλεσμα το αδυνάτισμα των ενδομοριακών δεσμών και το ‘μαλάκωμα’ του ιστού της πατάτας. Η ζελατινοποίηση του αμύλου εμπεριέχει το μετασχηματισμό του μερικώς κρυσταλλικού πολυσακχαρίτη σε άμορφη δομή (υαλώδης μετάπτωση). Ο κόκκος του αμύλου αρχικά διογκώνεται και μετά από λίγη ώρα, αναλόγως τη θερμοκρασία, καταλαμβάνει ολόκληρη τη πατάτα ενσωματώνοντας το περισσότερο, αν όχι όλο, το κυτταρικό υγρό μέσα στο ζελατινοποιημένο άμυλο (Kalogianni,2007).

Κατά το τηγάνισμα όχι μόνο το νερό υπό μορφή ατμού αλλά και άλλες ενώσεις θα μεταβούν από το φαγητό στο λάδι. Αυτό, σε συνδυασμό με τις μόνιμα υψηλές θερμοκρασίες, θα οδηγήσει σε υποβάθμιση του λαδιού, (Mellema, 2003).

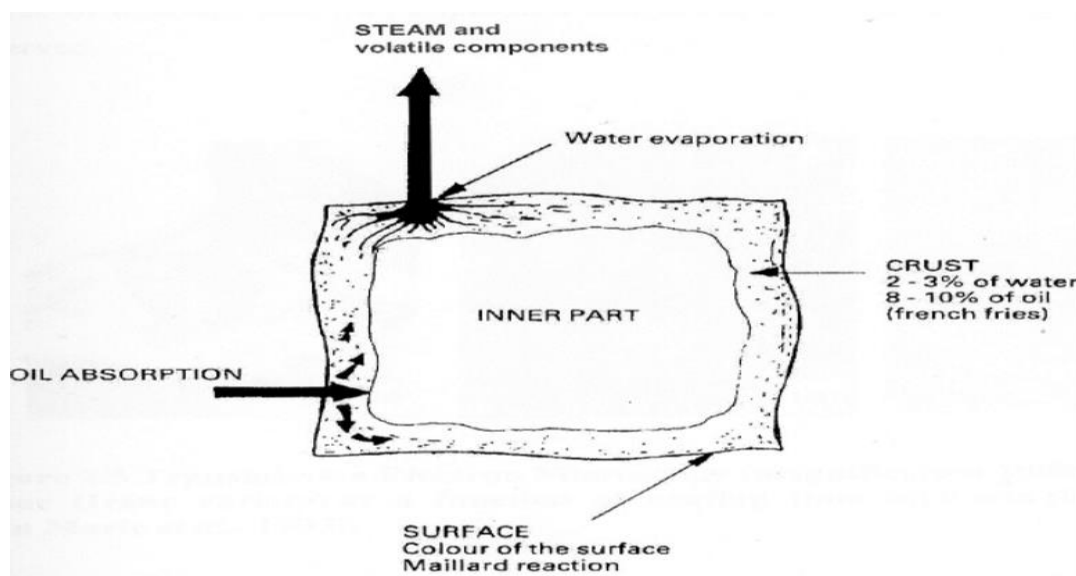
2.3.2 Αποβολή υγρασίας

Κατά την διάρκεια του τηγανίσματος της πατάτας, οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν μερική εξάτμιση του νερού, το οποίο φεύγει από το τρόφιμο και κατευθύνεται στο περιβάλλον έλαιο. Το έλαιο απορροφάται από τη πατάτα, αντικαθιστώντας μέρος του χαμένου νερού. Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι μια σημαντική ιδιότητα στα τηγανητά προϊόντα.. Ο μηχανισμός της απώλειας νερού κατά το τηγάνισμα της πατάτας είναι πολύπλοκος και η μεταφορά λόγω της μοριακής διάχυσης και των τριχοειδών φαινομένων και της ροής λόγω πίεσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Pedreschi, 2012).

Το νερό από την εξωτερική επιφάνεια του τροφίμου εξατμίζεται και διαφεύγει εντός του μέσου τηγανίσματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Αυτή η αφυδάτωση της επιφάνειας αναγκάζει το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του τροφίμου να κινηθεί προς την εξωτερική επιφάνεια (Paul et al., 1997). Το λάδι γύρω από τη πατάτα ψύχεται αρχικά, αλλά αυτή η πτώση θερμοκρασίας αντισταθμίζεται γρήγορα από τη μεταφορά θερμότητας. Μόνο αν η ποσότητα πατάτας που θα προστεθεί υπερβεί μία κρίσιμη τιμή, η θερμοκρασία του λαδιού θα επηρεαστεί σημαντικά. Καθώς το τηγάνισμα συνεχίζεται, η μεταφορά θερμότητας θα ενισχυθεί περαιτέρω από τους υδρατμούς οι εξέρχονται με τυρβώδη ροή. Ιδιαίτερα έντονη εξάτμιση μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό μεγάλων πόρων. Το νερό μέσα στη πατάτα θα θερμανθεί και η πατάτα θα μαγειρευτεί (Bouchon, 2009).

Στην επιφάνεια της πατάτας, το νερό απορροφά τη θερμότητα από το έλαιο που περιβάλλει τη πατάτα και βοηθάει στο σχηματισμό ατμού (Paul et al., 1997). Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του τροφίμου περιορίζεται σε τιμές γύρω από το σημείο βρασμού του νερού (Bouchon, 2009). Ο σχηματισμός του ατμού που εξέρχεται από την επιφάνεια του τροφίμου εμποδίζει το έλαιο να

εισέρθει στο εσωτερικό του τροφίμου (Paul et al., 1997). Όσο το τηγάνισμα συνεχίζεται, ο ρυθμός απώλειας του νερού μειώνεται έως ότου η διαφυγή του νερού σταματήσει (Bouchon, 2009). Ο ρυθμός εξάτμισης είναι ανάλογος με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ελαίου και του σημείου βρασμού του νερού. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί ότι όσο περισσότερο νερό απομακρύνεται από την επιφάνεια, τόσο περισσότερο έλαιο απορροφάται (Farinu and Baik, 2005).



Σχήμα 4: Αλλαγές στην εξωτερική επιφάνεια στις τηγανιτές πατάτες

(Kalogianni,2007)

2.3.3 Απορρόφηση ελαίου

2.3.3.1 Γενικά

Η ποσότητα του ελαίου που απορροφάται κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της ποιότητας των τηγανητών τροφίμων (Bouchon and Pyle, 2005). 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).

Έχει αποδειχθεί ότι η κρούστα των τηγανητών πατατών περιέχει σχεδόν έξι φορές περισσότερο λάδι από το εσωτερικό μέρος. Το λάδι τηγανίσματος παραμένει στην πορώδη επιφανειακή περιοχή των τηγανιτών πατατών και ιδιαίτερα στα πρώτα στρώματα κυττάρων (Ziaiiifar et al., 2008).

Πιστεύεται ότι κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, μετά την αρχική θέρμανση, η έντονη διαφυγή των υδρατμών θα δημιουργήσει ένα εμπόδιο στη πρόσληψη ελαίου στον πορώδη φλοιό και ως συνέπεια η απορρόφηση λαδιού θα περιοριστεί κατά πολύ στο μεγαλύτερο μέρος της περιόδου εμβάπτισης. Ως αποτέλεσμα, η πρόσληψη ελαίου θα προέλθει κυρίως από την αναρρόφηση εντός της πορώδους κρούστας όταν η τροφή απομακρύνεται από το έλαιο και αφήνεται να ψυχθεί (Bouchon, 2009)

2.3.3.2 Μηχανισμοί απορρόφησης ελαίου

Έχει υπάρξει πολλή έρευνα για να εξετασθούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση λαδιού κατά το τηγάνισμα και πολλές εμπειρικές μελέτες έχουν συγκρίνει μετρήσεις απορρόφησης λαδιού με την επεξεργασία ή και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος (Bouchon, 2009).

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 οι επιφανειοδραστικοί παράγοντες (Dana and Saguy, 2006).

1. Αντικατάσταση του νερού

Κατά το τηγάνισμα (διαδικασία αφυδάτωσης), 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 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 τριχοειδών αγγείων και των καναλιών στην κυτταρική δομή και στις μεμβράνες (Dana and Saguy, 2006).

Καθώς η διαδικασία συνεχίζεται, το έλαιο προσκολλάται στο τρόφιμο, δημιουργούνται μεγάλα κενά και ρωγμές από τις αλλαγές στη δομή κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος και την εξάτμιση του νερού. Όταν τα κενά είναι αρκετά μεγάλα, και δεν υπάρχει εσωτερική αντίσταση λόγω της θετικής πίεσης των υδρατμών, 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. 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. 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).

Είναι αξιοσημείωτο ότι σε μη-αναμορφωμένα προϊόντα, τα περισσότερα από τα τριχοειδή που αρχικά είχαν νερό μπορούν να μη γεμίσουν με λάδι όσο το νερό συνεχίζει να εξατμίζεται. Αρχικά, αυτό το φαινόμενο μπορεί να περιγραφεί ως μια «έκρηξη» που δημιουργείται όταν μια υψηλότερη πίεση ατμού αναγκάζει την έξοδο του από το προϊόν στο μέσο τηγανίσματος. Εάν το τριχοειδές είναι κλειστό στη μία πλευρά, το λάδι δεν μπορεί να διεισδύσει, καθώς η εσωτερική πίεση του ατμού το εμποδίζει όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 (Dana and Saguy, 2006).

2. Επίδραση της φάσης ψύξης

Όταν έχει ολοκληρωθεί το τηγάνισμα, το προϊόν βγαίνει από το μέσο τηγανίσματος και αρχίζει να ψύχεται, οδηγώντας τον ατμό σε συμπύκνωση και συνακόλουθη μείωση στην εσωτερική πίεση. Το λάδι που βρίσκεται στην επιφάνεια του τροφίμου αναρροφάται λόγω του «φαινομένου του κενού». Ως εκ τούτου, η πρόσληψη λαδιού είναι ένα φαινόμενο επιφάνειας, που αφορά την ισορροπία μεταξύ της πρόσφυσης και αποστράγγισης του λαδιού καθώς το προϊόν έχει βγει από το λουτρό λαδιού (Dana and Saguy, 2006).

Οι Gamble et al., 1987 ήταν οι πρώτοι που αρχικά εξήγησαν το μηχανισμό απορρόφησης του ελαίου. Πρότειναν ότι το περισσότερο έλαιο εισέρχεται στο τροφίμο, όταν αυτό αφαιρείται από την φριτέζα λόγω της επίδρασης του κενού που προήλθε από τη συμπύκνωση του ατμού (Bouchon and Pyle, 2005).

Η επιφάνεια παίζει σημαντικό ρόλο, η πρόσληψη λαδιού και η κατανομή του καθορίζεται από τη μικροδομή της κρούστας που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του τηγανίσματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακόμη και σε αυτό το στάδιο το λάδι, περιορίζεται στη κρούστα και στη άμεση επιφάνεια του προϊόντος. Επίσης να σημειωθεί ότι το ιξώδες του λαδιού αυξάνεται σημαντικά με μεγάλο χρονικό διάστημα τηγανίσματος. Αυτή η τυπική άνοδος οφείλεται στο σχηματισμό προϊόντων πολυμερισμού, καθώς η ποιότητα του λαδιού μειώνεται. Το αυξημένο ιξώδες του μέσου τηγανίσματος και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του προϊόντος είναι πιθανότατα οι πιο κρίσιμοι παράγοντες που οδηγούν σε υψηλότερη πρόσληψη λαδιού όταν το τρόφιμο βγαίνει από το λουτρό λαδιού (Dana and Saguy, 2006).

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).

3. Επιφανειοδραστικοί παράγοντες

Σύμφωνα με την «επιφανειοδραστική θεωρία του τηγανίσματος» τα τασιενεργά είναι υπεύθυνα για τις επιφανειακές και εσωτερικές διαφορές στην ποιότητα των τηγανιτών τροφίμων. Όταν 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).

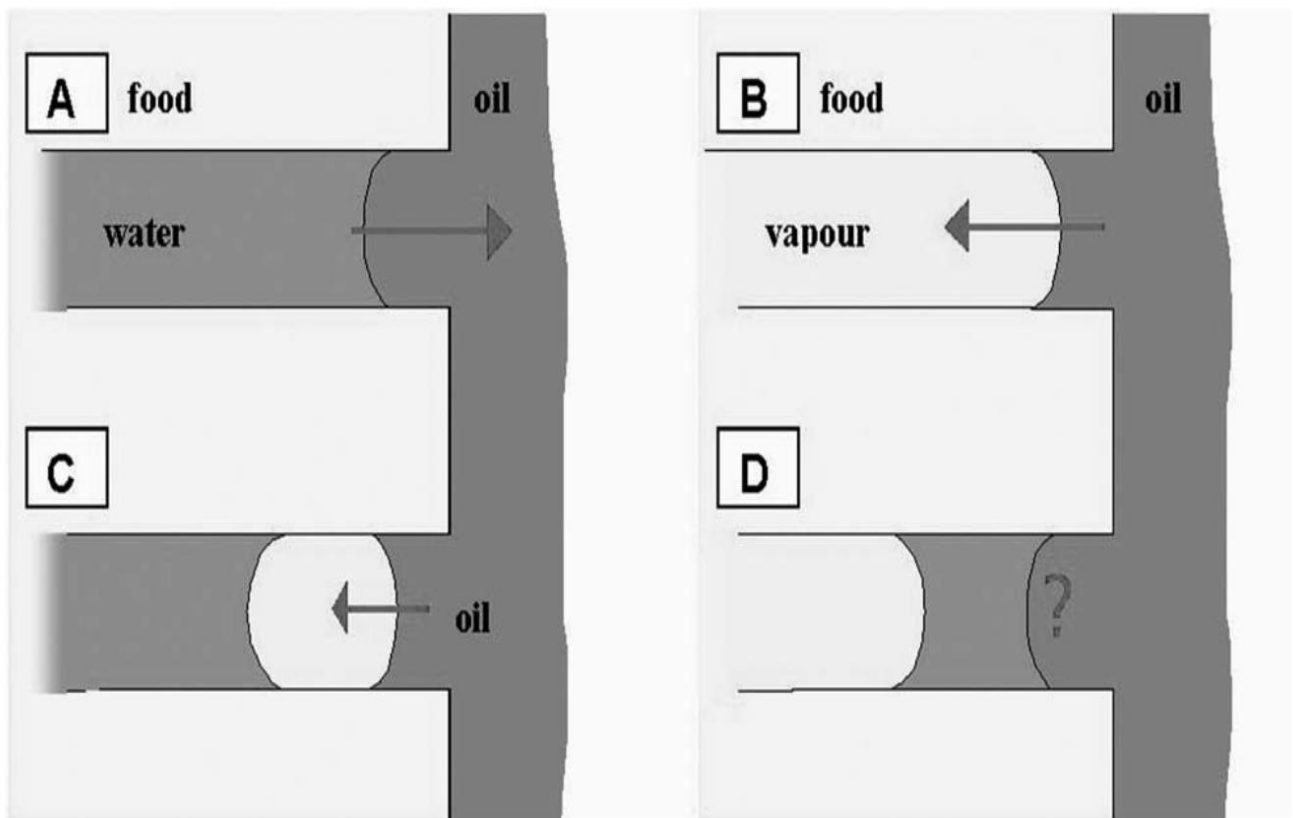
Καθώς η διαδικασία του τηγανίσματος προχωρά, το έλαιο υποβαθμίζεται και μετατρέπεται από ένα ουσιαστικά καθαρό μείγμα τριγλυκεριδίων σε ένα μίγμα εκατοντάδων ενώσεων. Η εξάτμιση του νερού από το τρόφιμο κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος προκαλεί υδρολυτικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τη διάσπαση 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 (Dana and Saguy, 2006).

Μερικά από τα προϊόντα αποικοδόμησης του ελαίου 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. Η επίδραση της γωνίας επαφής στη πρόσληψη λαδιού είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζει τη διαβροχή και τη διείδυση του λαδιού (Dana and Saguy, 2006).

2.3.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση ελαίου

Έχει υπάρξει αρκετή έρευνα για να εξεταστούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση λαδιού κατά το τηγάνισμα και πολλές εμπειρικές μελέτες έχουν συγκρίνει μετρήσεις

απορρόφησης λαδιού με την επεξεργασία ή 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 παρακάτω (Bouchon, 2009).



Σχήμα 5: (A) Διείσδυση λαδιού σε πόρο γεμάτο με νερό (B) Πόρος γεμάτος ατμό (C-D) Γωνίες διαβροχής μικρότερες των 90° που οδηγούν σε διείσδυση λαδιού με το φαινόμενο των τριχοειδών αγγείων.

(Mellema,2003)

1. Ποσοστό υγρασίας

Το ποσοστό της πρόσληψης του λαδιού έχει αποδειχθεί ότι είναι ευθέως ανάλογο με το ποσοστό της υγρασίας που χάθηκε. Αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι υψηλές αρχικές περιεκτικότητες σε υγρασία έχουν ως αποτέλεσμα αύξηση πρόσληψης λαδιού, ωστόσο, η απορρόφηση λαδιού φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με το ποσοστό της απώλειας νερού από ότι με την αρχική υγρασία. Όπως

εξηγείται πιο πριν, είναι αποδεδειγμένο ότι το λάδι που απορροφάται καταλαμβάνει τα κενά που μένουν από το νερό, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει το μέγιστο διαθέσιμο όγκο απορρόφησης λαδιού (Bouchon, 2009).

2. Μικροδομή της κρούστας

Έχει διαπιστωθεί ότι μείωση του αρχικού πορώδους στα τρόφιμα μπορεί να μειώσει την απορρόφηση ελαίου. Ωστόσο, ο σχηματισμός της κρούστας παίζει επιπρόσθετο και θεμελιώδη ρόλο. 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 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. Το πορώδες του προϊόντος

Το αρχικό πορώδες ενός προϊόντος είναι ευθέως ανάλογο προς την τελική απορρόφηση του ελαίου εφόσον 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, 2005).

4. Γεωμετρία προϊόντος

Η απορρόφηση του λαδιού είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο που σχετίζεται με την ισορροπία πρόσφυσης και αποστράγγισης λαδιού όταν το προϊόν καταργείται από τη φριτέζα. Ως εκ τούτου, τα προϊόντα με μεγαλύτερη αναλογία επιφάνειας-όγκου θα απορροφήσουν περισσότερο έλαιο όπως φαίνεται από τη γραμμική σχέση που βρέθηκε μεταξύ της επιφάνειας και του ποσοστού ελαίου που απορροφήθηκε. Η τραχύτητα της επιφάνειας είναι ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη πρόσληψη λαδιού, δεδομένου ότι όχι μόνο εξασθενεί την αποστράγγιση λαδιού αλλά και αυξάνει την συνολική επιφάνεια (Bouchon, 2009).

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 (Ziaifar et al., 2008).

5. Θερμοκρασία ελαίου και χρόνος τηγανίσματος

Αυτές οι δύο παράμετροι επεξεργασίας συνδέονται στενά, αφού τα προϊόντα πρέπει να τηγανισθούν μέχρι να φτάσουν συγκεκριμένη τελική υγρασία, οπότε χαμηλότερη θερμοκρασία λαδιού προϋποθέτει περισσότερο χρόνο τηγανίσματος. Έχει αποδειχθεί ότι η περιεκτικότητα σε λάδι αυξήθηκε όταν υπήρξε αύξηση στο χρόνο τηγανίσματος, ειδικά για λεπτότερα προϊόντα. Το αποτέλεσμα του χρόνου τηγανίσματος στο ποσοστό του λαδιού που απορροφήθηκε μπορεί να σχετίζεται με τη μικροδομή της κρούστας που αναπτύχθηκε κατά το τηγάνισμα. Το πορώδες της κρούστας αυξάνεται γραμμικά με το χρόνο τηγανίσματος και καθώς έχει αποδειχθεί ότι η δομή της κρούστας παίζει σημαντικό ρόλο στη πρόσληψη λαδιού, έτσι και παχύτερο πορώδες κρούστας θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λάδι, (Bouchon, 2009).

Μερικοί συγγραφείς αναφέρουν ότι το τηγάνισμα σε υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί σε μείωση της απορρόφησης του ελαίου, πιθανώς λόγω της μείωσης του χρόνου τηγανίσματος που είναι απαραίτητος, στο σχηματισμό μίας καλύτερα αναπτυγμένης κρούστας η οποία θα ενεργεί ως εμπόδιο για την πρόσληψη του ελαίου, ή με την μείωση του πορώδες της κρούστας (Miranda and Aguilera, 2006).

6. Τύπος και σύνθεση του ελαίου

Η επιρροή του τύπου και της ποιότητας του λαδιού στην απορρόφηση λαδιού και τα κατάλοιπα που απορροφούνται από τα τηγανιτά προϊόντα τεκμηριώνεται ευρέως. Έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση στην αρχική διεπιφανειακή τάση μεταξύ λαδιού και προϊόντων πατάτας μειώνει την απορρόφηση λαδιού. Επιπλέον, 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 επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τον συνολικό όγκο του ελαίου που εισέρχεται στις μεγάλες κοιλότητες της κρούστα του τροφίμου. Το

υψηλό ιξώδες βοηθάει στην απορρόφηση μεγαλύτερου όγκου 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).

2.4 Ξήρανση

2.4.1 Γενικά

Η ξήρανση είναι μια τεχνολογία κατά την οποία γίνεται ένας συμβιβασμός μεταξύ των αναπόφευκτων δομικών μεταβολών και της αυξημένης σταθερότητας λόγω της χαμηλής υγρασίας. Για τον Χημικό Μηχανικό οι κρίσιμες παράμετροι που σχετίζονται με τη διεργασία της ξήρανσης είναι ο ρυθμός ξήρανσης και η φαινόμενη διάχυση της υγρασίας του προϊόντος. Ωστόσο, για τον Τεχνολόγο Τροφίμων ιδιότητες, όπως το χρώμα, το σχήμα (συρρίκνωση) και η ικανότητα επανενυδάτωσης είναι καθοριστικές για την ποιότητα του ξηρού προϊόντος (Aguilera, 2005).

Ο κύριος σκοπός της ξήρανσης των τροφίμων είναι να μειώσει την υγρασία τους, προκειμένου να μειωθεί η ενεργότητα του νερού και να υπάρξει πρόληψη κατά της αλλοίωσης. Η ενεργότητα του νερού είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την διάρκεια ζωής, με τα περισσότερα βακτήρια να μη μπορούν να αναπτυχθούν κάτω από μία τιμή 0,91 και οι μύκητες να παύουν να αυξάνονται με τιμή χαμηλότερη του 0,80. Η ενεργότητα του νερού επίσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δραστηριότητα των ενζύμων, στη παρουσία των βιταμινών στα τρόφιμα και μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο χρώμα, γεύση και άρωμα τους. Επιπλέον, η αφαίρεση της υγρασίας μειώνει το βάρος και τον όγκο των τροφίμων διευκολύνοντας τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους (Brown et al., 2008).

2.4.2 Μέθοδοι ξήρανσης

- Η συμβατική ξήρανση με αέρα είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων και χημικών, παράγοντας προϊόντα που χαρακτηρίζονται από χαμηλό πορώδες και υψηλή φαινομενική πυκνότητα. Οι υψηλές θερμοκρασίες που συνήθως χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής ξήρανσης με αέρα (συνήθως 65-85 °C) προκαλούν ζημιά στη μικροδομή και μπορεί επίσης να έχουν αρνητική επιρροή στο χρώμα,

την υφή, τη γεύση, το άρωμα και τη θρεπτική αξία του προϊόντος επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα τόσο του αφυδατωμένου όσο και επανυδατωμένου προϊόντος (Brown et al., 2008).

- Η ξήρανση με μικροκύματα είναι γρήγορη, πιο ομοιόμορφη και με πιο καλή απόδοση ενέργειας σε σύγκριση με τη συμβατική ξήρανση θερμού αέρα. Στην περίπτωση αυτή, η απομάκρυνση της υγρασίας επιταχύνεται και επιπλέον, η μεταφορά θερμότητας στο στερεό επιβραδύνεται σημαντικά λόγω της απουσίας της μεταγωγής. Επίσης λόγω της συμπυκνωμένης ενέργεια ενός συστήματος μικροκυμάτων, μόνο 20 - 35% του χώρου απαιτείται, σε σύγκριση με τον συμβατικό εξοπλισμό θέρμανσης και ξήρανσης. Ωστόσο, η ξήρανση με μικροκύματα είναι γνωστό ότι οδηγεί σε κακής ποιότητας προϊόν αν δεν εφαρμοστεί σωστά (Maskan, 2000).
- Η λυοφιλίωση (*freeze drying*) είναι η καλύτερη μέθοδος απομάκρυνσης νερού με τελική ποιότητα υψηλότερη συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους ξήρανσης. Η λυοφιλίωση βασίζεται στη ξήρανση του προϊόντος με εξάχνωση. Λόγω της απουσίας του υγρού νερού και των χαμηλών θερμοκρασιών το μεγαλύτερο μέρος της αλλοίωσης και των μικροβιολογικών αντιδράσεων έχουν σταματήσει, κάτι που δίνει προϊόν εξαιρετικής ποιότητας. Η στερεή φάση του νερού κατά τη λυοφιλίωση προστατεύει τη βασική δομή και το σχήμα των προϊόντων με ελάχιστη μείωση του όγκου τους. Παρόλα τα πολλά πλεονεκτήματα η λυοφιλίωση πάντα θεωρούταν ως η πιο ακριβή μέθοδος ξήρανσης (Hua et al., 2010).
- Η οσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται κυρίως στην εν μέρη αφυδάτωση υλικών μέσω της εξαγωγής μεγάλου μέρους του περιεχόμενου νερού. Την ίδια στιγμή συγκεκριμένα στερεά εγγέονται στο πλέγμα των υλικών. Η οσμωτική αφυδάτωση επίσης επηρεάζει το χρώμα του τελικού προϊόντος αποτρέποντας τον αποχρωματισμό (Krokida et al., 2001).

Η οσμωτική αφυδάτωση έχει επίσης εκτενώς αναφερθεί ως αποτελεσματική προ επεξεργασία στη μείωση της απορρόφησης ελαίου, της οποίας η αποτελεσματικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το διάλυμα που χρησιμοποιείται. Ωστόσο, όπως αποκαλύπτεται σε μια πρόσφατη μελέτη, η μείωση στην απορρόφηση ελαίου έχει δείχθει να είναι πραγματικά λόγω της αύξησης στην περιεκτικότητα σε στερεά που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας οσμωτικής αφυδάτωσης, παρά της μείωση στην ποσότητα του ελαίου παρελήφθη. Στην

πραγματικότητα, η μελέτη κατέδειξε ότι τα δείγματα που έχουν υποστεί οσμωτική αφυδάτωση μπορεί να απορροφήσουν έλαιο όσο και τα λυοφιλωμένα δείγματα (Bouchon, 2009).

- Η τεχνικές ξήρανσης με χρήση υπερκρίσιμου διοξειδίου του άνθρακα, αν και δεν έχουν αναφερθεί στο παρελθόν για την επεξεργασία τροφίμων, έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον και σε άλλους κλάδους, π.χ. για ξήρανση τζελ που αποτελείται από διοξείδιο του πυριτίου ή του χρωμίου για την παραγωγή αεροπηκτών, αλλά και για τη δημιουργία άλλων ανόργανων πορωδών δομών. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα της ξήρανσης με υπερκρίσιμο ρευστό είναι ότι μπορούν να αποφευχθούν διεπαφές ατμού-υγρού. Έτσι λοιπόν, τεχνητές τριχοειδείς ελαστικές πιέσεις που βλέπονται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με αέρα δεν συμβαίνουν στα προϊόντα, βοηθώντας να διατηρείται η δομή τους. Επιπλέον, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα έχει χαμηλή κρίσιμη θερμοκρασία (31,1°C) είναι δυνατό να αξιοποιηθεί αυτό το πλεονέκτημα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, πολύ χαμηλότερες από ό, τι στη συμβατική ξήρανση. Ωστόσο, το υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα είναι ένας μη πολικός διαλύτης και ως εκ τούτου η διαλυτότητα του νερού σε αυτό το ρευστό είναι μέτρια (Brown et al., 2008).

2.4.3 Ξήρανση πριν το τηγάνισμα

Τα τηγανιτά προϊόντα περιέχουν σημαντικές ποσότητες ελαίου, φθάνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις, το 1/3 του συνολικού βάρους του προϊόντος. Αυτό εξασφαλίζει ένα υψηλό επίπεδο κορεσμού, αλλά μπορεί επίσης να αποτελέσει και κίνδυνο για την υγεία. Κατά την τελευταία δεκαετία έχει αναγνωρισθεί η σκοπιμότητα της μείωσης σε περιεκτικότητας ελαίου των τηγανιτών προϊόντων. Αυτό συμβαίνει διότι τα κορεσμένα λίπη που συνήθως χρησιμοποιούνται κατά το τηγάνισμα έχουν συνδεθεί με την παχυσαρκία και τις καρδιοπάθειες (Mellema, 2003).

Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η πρόσληψη ελαίου περιορίζεται στην επιφανειακή περιοχή του τηγανισμένου προϊόντος σε βάθος μερικών κυττάρων και ότι πρόσληψη ελαίου εμφανίζεται κυρίως τη στιγμή που το προϊόν απομακρύνεται από το λουτρό ελαίου και αρχίζει να ψύχεται, δεδομένου ότι η έντονη διαφυγή του νερού εμποδίζει την απορρόφηση κατά το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου εμβάπτισης. Διάφορες διεργασίες πριν το τηγάνισμα προτίθενται να μειώσουν την απορρόφηση ελαίου λόγω της μείωσης της διαπερατότητας της επιφάνειας (Moreno and Bouchon, 2008).

Για παράδειγμα, ξήρανση πριν το τηγάνισμα σε πατατάκια μείωσε τη τελική περιεκτικότητά τους σε λάδι, και διαπιστώθηκε ότι αυτό σχετίζεται με τη μείωση της αρχικής υγρασίας. Η ξήρανση επίσης μείωσε σημαντικά τη πρόσληψη λαδιού σε ζεματισμένες φέτες πατάτας (Dana and Saguy, 2006).

Κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος νερό από το φλοιό του προϊόντος θα εξατμιστεί και θα κινηθεί προς τα έξω. Προκειμένου η ροή του ατμού να συνεχιστεί, αρκετό νερό θα πρέπει να είναι σε θέση να μετακινηθεί από τον πυρήνα του προϊόντος στον φλοιό και ο φλοιός θα πρέπει να παραμείνει διαπερατός. Το γεγονός ότι ο ατμός αφήνει κενά ώστε το έλαιο να εισέλθει στη συνέχεια, είναι ο λόγος για τον οποίο η πρόσληψη ελαίου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα σε υγρασία του προϊόντος. Ομοίως, τα τμήματα των προϊόντων με περισσότερη υγρασία δείχνουν επίσης εντονότερη πρόσληψη ελαίου. Δεδομένου ότι το έλαιο μπορεί να διεισδύσει μόνο όπου το νερό έχει εξατμιστεί, δηλαδή όταν η θερμοκρασία είναι επαρκώς υψηλή, στην κρούστα, είναι επαρκής απόδειξη ότι το έλαιο διεισδύει δύσκολα στο μαγειρεμένο πυρήνα και ότι η μικροδομή του φλοιού είναι η κύριος παράγοντας στην πρόσληψη ελαίου (Mellema, 2003).

Η υψηλή δυνατότητα μείωσης ελαίου των εν λόγω προκατεργασιών δεν οφείλεται μόνο στη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία, όπως γενικότερα πιστεύεται, αλλά και λόγω των διαρθρωτικών αλλαγών που συμβαίνουν στην επιφάνεια του προϊόντος, οι οποίες μειώνουν τη διαπερατότητα της επιφάνειας (Moreno and Bouchon, 2008).

Οι ιδιότητες και η δομή του προϊόντος εξαρτώνται από τον τύπο της ξήρανσης, την επίδραση των μεταβλητών επεξεργασίας και τα αρχικά δομικά στοιχεία της πρώτης ύλης. Η ξήρανση προκαλεί έντονες φυσικές και δομικές αλλαγές στους ιστούς της πατάτας. Η πιο έντονη μακροσκοπικά τροποποίηση είναι η συρρίκνωση και παραμόρφωση κομματιών του τροφίμου. Οι μεταβολές της θερμότητας και της υγρασίας βοηθούν στην ανάπτυξη τάσεων εφελκυσμού και συμπίεσης. Οι πιέσεις εφελκυσμού είναι μεγαλύτερες από αυτές της συμπίεσης, ιδιαίτερα στην επιφάνεια του ξηραθέντος υλικού. Οι πιέσεις προκαλούν θραύση και διάρρηξη του ιστού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης (Troncoso and Pedreschi, 2007).

Τα επιφανειακά στρώματα της πατάτας τα οποία έχουν υποστεί ξήρανση με αέρα έχουν υποστεί σοβαρές ζημιές σε σύντομους χρόνους, ενώ η εσωτερική δομή φαίνεται άθικτη. Περαιτέρω ξήρανση επάγει το σχηματισμό ρωγμών, ο εσωτερικός ιστός διαλύεται και πολυάριθμες τρύπες δημιουργούνται. Η απώλεια νερού και ο διαχωρισμός των συστατικών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, θα μπορούσαν να προκαλέσουν την ακαμψία, ζημία και διάσπαση των κυτταρικών τοιχωμάτων, ακόμη και την κατάρρευση του κυτταρικού ιστού. Οι αλλαγές αυτές συνδέονται με την μείωση όγκου του προϊόντος. Γρήγορη ξήρανση οδηγεί σε ρωγμές, με

αποτέλεσμα τελικά άκαμπτα προϊόντα με περισσότερο όγκο και επιφανειακή κρούστα; αργοί ρυθμοί ξήρανσης οδηγούν σε ενιαία και πυκνότερα προϊόντα (Troncoso and Pedreschi, 2007).

Φυσικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα, η συρρίκνωση και το πορώδες, είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή και τα φαινόμενα μεταφοράς των τηγανητών προϊόντων (Ziaiiifar et al., 2008). Οι Saguy et al., (1997) αναφέρουν ότι το πορώδες του προϊόντος παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη ελαίου. Η γραμμική συσχέτιση απορρόφησης ελαίου και πορώδους έχει καθοριστεί από διάφορους συγγραφείς.

Μια πρώτη ύλη με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά θα δώσει ένα προϊόν με χαμηλή περιεκτικότητα σε έλαιο. Τα αρχικά στερεά μπορούν τεχνητά να αυξηθούν με τη ξήρανση στις πατάτες πριν το τηγάνισμα και ο Smith, 1951 έδειξε ότι η ξήρανση με θερμό αέρα και με υπέρυθρες έδωσε τελικό προϊόν χαμηλής περιεκτικότητας ελαίου. Η ξήρανση πριν το τηγάνισμα μειώνει τη περιεκτικότητα ελαίου των τηγανιτών πατατών. Ο χρόνος ξήρανσης επιδρά αρνητικά στο ισοζύγιο του λαδιού στις τηγανιτές πατάτες (Krokida et al., 2001).

Είναι εμφανές ότι καθώς ο χρόνος ξήρανσης αυξάνει το ολικό πορώδες αυξάνεται ενώ ο ειδικός όγκος μειώνεται, το οποίο σημαίνει ότι το φαινόμενο συρρίκνωσης γίνεται πιο έντονο (μικρότερος ειδικός όγκος). Το φαινόμενο συρρίκνωσης που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης μικραίνει τις διαστάσεις των ανοιχτών πόρων, το οποίο αποτρέπει να εισέλθει το έλαιο και έτσι μειώνεται η περιεκτικότητα της τηγανιτής πατάτας σε έλαιο (Krokida et al., 2001).

Η ξήρανση με αέρα οδήγησε σε μια κρούστα με χαμηλότερης περιεκτικότητας σε έλαιο και μικρότερο όγκο ελαίου. Η ξήρανση με αέρα δεν έδωσε μεγάλες περιοχές που δεν είχαν καθόλου έλαιο, αλλά αφαίρεσε υγρασία από το σύνολο της φέτας με αποτέλεσμα μια ομοιόμορφη ξήρανση. Το έλαιο ήταν παρών ως μικρά διακριτά σταγονίδια ελαίου κατανεμημένα ομοιόμορφα σε όλη τη φέτα, με σημαντική συσχέτιση στα κυτταρικά τοιχώματα. Οι ακμές φάνηκαν να είναι χωρίς λάδι, σε αντίθεση με μια κανονική κρούστα, η οποία είχε αυξημένο έλαιο στις άκρες. Όταν τηγανίσθηκε η φέτα απέβαλε υγρασία και πήρε έλαιο, αλλά σε μειωμένες ποσότητες. Το λάδι είχε μια πιο κανονική κατανομή από μία κανονική κρούστα. Μια επαναλαμβανόμενη ξήρανση με αέρα στους 40°C, κάτω από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, παράγει παρόμοια αποτελέσματα με ξήρανση στους 105°C. Το άμυλο στη φέτα που υπέστη ξήρανση δεν ήταν πάντοτε ζελατινοποιημένο πριν από το τηγάνισμα, παρά τη θερμοκρασία του φούρνου (Gamble and Rice, 1987).

Στα προϊόντα με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε άμυλο, όπως οι πατάτες, σημαντική επίδραση στην υφή θα μπορούσε να έχει η ζελατινοποίηση του αμύλου κατά τη διάρκεια της θέρμανσης (Pedreschi and Moyano, 2005).

Το άμυλο είναι ένα σημαντικό συστατικό πολλών τηγανιτών προϊόντων. Ωστόσο, περιορισμένες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στη βιβλιογραφία σχετικά με δομικό μετασχηματισμό του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του τηγανίσματος και το ρόλο του στον καθορισμό του σχηματισμού κρούστας, τη πρόσληψη ελαίου, της υφής και τις αισθητικές ιδιότητες του προϊόντος (Fan et al., 1997).

Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της κρούστας, τόσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο (resistant starch) στις τηγανητές πατάτες και τόσο μειώνεται η απορρόφηση ελαίου. Το άμυλο της ωμής πατάτας δεν χωνεύεται, διότι είναι έγκλειστο μέσα σε κόκκους, οι οποίοι δυσχεραίνουν την προσβασιμότητα των πεπτικών ενζύμων. Όταν οι πατάτες μαγειρεύονται οι κόκκοι αμύλου ζελατινοποιούνται και κατά το τηγάνισμα, γίνονται προσιτοί στα πεπτικά ένζυμα, ένα υψηλό επίπεδο υγρασίας στα δείγματα (80% σε φρέσκα δείγματα) αποτρέπει την θερμική αποικοδόμηση του αμύλου της πατάτας κατά το τηγάνισμα. Η απουσία νερού στα τηγανητά δείγματα αποτρέπει επίσης περαιτέρω κρυστάλλωση των αλυσίδων αμυλόζης. Ως εκ τούτου, η περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο είναι πολύ χαμηλή σε φρέσκες τηγανητές πατάτες. Ωστόσο, όταν πατατάκια ξηράθηκαν πριν το τηγάνισμα με λυοφιλίωση, η περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο αυξήθηκε έως 32%. Αυτό υποδηλώνει ότι το ανθεκτικό άμυλο παράγεται με θερμική αποικοδόμηση του αμύλου κατά την απουσία ύδατος (Goi et al., 1997).

Εν κατακλείδι η ξήρανση επηρεάζει σημαντικά όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους ποιότητας των τηγανιτών πατατών. Οι ρυθμοί και των δύο φαινομένων μεταφοράς μάζας (απορρόφηση ελαίου και εξάτμιση νερού) τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά το τηγάνισμα των φετών πατάτας μειώνονται λόγω της ξήρανσης. Η επιδείνωση του χρώματος που συμβαίνει κατά τη ξήρανση επηρεάζει το χρώμα των τηγανιτών προϊόντων τα οποία γίνονται πιο καφέ. Οι ιδιότητες της δομής επίσης επηρεάζονται από τη ξήρανση, αυξάνονται οι πυκνότητες και ο ειδικός όγκος καθώς και το πορώδες μεγαλώνει. Εν τέλει η ξήρανση μειώνει την απορρόφηση ελαίου, ενώ η ποιότητα των τηγανιτών πατατών μπορεί να ελεγχθεί επιλέγοντας το κατάλληλο χρόνο και είδος ξήρανσης (Krokida et al., 2001).

2.5 Μεταβολές που παρατηρούνται κατά την διεργασία τηγανίσματος

2.5.1 Μεταβολές 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) υπέρυθρη 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).

2.5.2 Μεταβολές λιποπεριεκτικότητας

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 μέθοδος Soxhlet είναι μια απλή μέθοδος, στην οποία το έλαιο εκχυλίζεται από το προϊόν χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες όπως χλωροφόρμιο ή πετρελαϊκό αιθέρα. Μετά την εξάτμιση του διαλύτη μπορεί να προσδιοριστεί το βάρος του εκχυλισμένου ελαίου (Mellema, 2003). Ο αιθέρας και ο πετρελαϊκός αιθέρας είναι από τους πιο κοινούς διαλύτες εκχύλισης. Υπάρχει μια αυξανόμενη τάση για την χρήση πετρελαϊκού αιθέρα διότι είναι πιο επιλεκτικός ως προς τα έλαια (Erickson, 2007).

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 εκχυλισσιμότητα και αυξάνει την επιφάνεια του δείγματος (Pomeranz and Meloan, 1995).

2.5.3 Μεταβολές στην μικροδομή της κρούστας

Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί στα πρόσφατα χρόνια με επιτυχία στη μελέτη των αλλαγών της δομής όπως π.χ. οπτική μικροσκοπία, και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.

Για ένα πιο αντιπροσωπευτικό χαρακτηρισμό της πορώδης δομής η έρευνα με τις παραπάνω μεθόδους θα πρέπει να συμπληρωθεί με μια άλλη τεχνική που παρέχει σφαιρική πληροφόρηση σχετικά με τη δομή του πόρου. Οι περισσότερες από τις μεθόδους με μικροσκόπιο ή τομογραφία είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε ευαίσθητα δείγματα όπως οι κρούστες πατάτας. Μια τυποποιημένη τεχνική που παρέχει σφαιρική πληροφόρηση σχετικά με το πορώδες είναι η ποροσιμετρία με υδράργυρο. Μία άλλη τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μεγέθους των πόρων είναι η μέθοδος της τριχοειδούς διείδυσης (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

Η μέθοδος της τριχοειδούς διείδυσης βασίζεται στην περιγραφή της κινητικής διείδυσης ενός υγρού μέσα σε ένα λεπτό στρώμα ενός υλικού με την εξίσωση των Lucas-Washburn. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται υγρά που μπορούν να διειδύσουν αυθόρμητα στους πόρους τριχοειδών διαστάσεων του στερεού και η εκ του αποτελέσματος (effective) ακτίνα του πόρου του μέσου, μπορεί να προσδιοριστεί. Οι πληροφορίες που παρέχονται από την τριχοειδή διείδυση είναι γενικές, με την έννοια ότι οι ιδιότητες που προσδιορίζονται εκπροσωπούν το σύνολο του υλικού υπό δοκιμή (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

2.5.4 Μεταβολές στις ιδιότητες της επιφάνειας της πατάτας

Μία μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την μελέτη των ιδιοτήτων της επιφάνειας της πατάτας είναι η φασματοσκοπία FTIR, μέθοδος η οποία δεν έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την μελέτη τέτοιου είδους μεταβολών. Η φασματοσκοπία FTIR κάνει χρήση του πλήρους φάσματος της πηγής και όχι των επιμέρους μήκων κύματος που παράγονται από το φράγμα περιθλάσεως και ή τα συστήματα πρίσματος που χρησιμοποιούνται σε συμβατική IR φασματοσκοπία. Οι διακυμάνσεις της έντασης που παράγονται από το φαινόμενο της παρεμβολής μετρώνται από τον ανιχνευτή, ψηφιοποιούνται σε πραγματικό χρόνο και οδηγούν σε μια μέτρηση παρεμβολών που περιέχει όλες τις φασματικές πληροφορίες σχετικά με το δείγμα (Van de Voort, 1992). Επίσης η γωνία επαφής του ελαίου με την επιφάνεια της πατάτας μπορεί να δώσει χρήσιμη πληροφορία για τη δυνατότητα διείδυσης ή όχι, του ελαίου. Γωνίες επαφής $< 90^\circ$ δίνουν τη δυνατότητα στο έλαιο να διειδύσει σε

ενδεχόμενους πόρους της πατάτας ενώ αντίθετα για γωνίες επαφής $> 90^\circ$ η αυθόρμητη διείδυση είναι αδύνατη.

3. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της ξήρανσης της πατάτας στην απορρόφηση του λαδιού κατά το τηγάνισμα μέσω της χρήσης μεθόδων που δεν έχουν ξαναχρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό και στοχεύουν να δώσουν πληροφορίες για τις ιδιότητες της επιφάνειας και εξωτερικής στοιβάδας κυττάρων της πατάτας. Εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι ξήρανσης:

A) με ροή CO₂ 100%

B) με ροή μίγματος αζώτου- οξυγόνου (συνθετικός αέρας), 21% O₂, 79% N₂. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν απουσία ξήρανσης. Για την μελέτη των ιδιοτήτων της επιφάνειας της πατάτας χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι: φασματοσκοπία υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR) και μέτρηση της γωνίας επαφής του λαδιού στην επιφάνεια ξηρής και ωμής πατάτας. Μελετήθηκε επίσης το μέγεθος των πόρων των εξωτερικών στρωμάτων ξηρής ωμής, και τηγανισμένης πατάτας μετά από λυοφιλίωση με την τεχνική της δυναμικής τριχοειδούς διείδυσης. Τέλος προσδιορίστηκε η υγρασία και η λιποπεριεκτικότητα των πατατών.

4.Υλικά και μέθοδοι

4.1 Υλικά – Όργανα

4.1.1 Πρώτη ύλη

Η προμήθεια των δειγμάτων (πατάτες ποικιλίας Everest) έγινε από κατάστημα οπωρολαχανικών της τοπικής αγοράς της Σίνδου σε συσκευασίες των 2,5kg .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% και για χρόνο τουλάχιστον 3 εβδομάδων από την αγορά τους.

4.1.2 Αντιδραστήρια

- CO₂
- Μίγμα αερίου (79% N₂, 21% O₂).
- Ηλιέλαιο ραφινέ απομαργαρινωμένο «ΚΟΚΟ».
- Για τον προσδιορισμό του μεγέθους των πόρων χρησιμοποιήθηκε πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο ιξώδους 47.9 mPa*s.
- Για τον προσδιορισμό της υγρασίας χρησιμοποιήθηκε άμμος θαλάσσης υψηλής καθαρότητας Sea Sand Calcined της εταιρίας MERCK.
- Για τον προσδιορισμό του λίπους χρησιμοποιήθηκε πετρελαϊκός αιθέρας (σ.β. 40-65°C) (PENTA).

4.1.3 Όργανα

- Συσκευή Soxhlet Velp Scientifica SER 148 Solvent Extractor
- Φούρνος με αέρα Gallenkamp OV-160
- Λυοφιλιοτήης (freeze drier) CHRIST GAMMA 1-20 LMC
- Gas Mixer PBI Max Mix Dansensor 9001 ME
- Θερμαινόμενο Λουτρό Patz Hor
- Μετρητής Φυσαλίδας Soap Film Flowmeter
- Blender Bosch Cerealine 500W
- FTIR Thermo Electron Corporation Nicolet 380
- Optical Contact Angle Meter Cam 200 KSV Instruments LTD
- Αναλυτικός ζυγός SHIMADZU AW 320 (διακριτική ικανότητα 0,0001g)
- Οικιακή φριτέζα TEFAL UNIVERSALIS 1000
- Καταγραφικό θερμομέτρο Microprocesor Thermometer Omega model HH22

4.2 Προετοιμασία δειγμάτων για τα πειράματα ξήρανσης-τηγανίσματος

Οι πατάτες κόπηκαν με κόφτη λαχανικών σε ράβδους 1*1cm και κατόπιν με μαχαίρι σε μήκος 6cm. Για την κωδικοποίηση των ράβδων πατάτας περάστηκαν κλωστές διαφορετικού χρώματος. Οι ράβδοι πατάτας αυτοί τοποθετήθηκαν σε βρεγμένη πετσέτα τύπου Wettex για την αποφυγή του μαυρίσματος και αφυδάτωσης της εξωτερικής επιφάνειας.

4.2.1 Ξήρανση Πατατών

Η ξήρανση των πατατών έγινε σε κωνική φιάλη συνδεδεμένη με σύστημα παροχής αέρα. Η κωνική ήταν βυθισμένη κατά περίπου τα 2/3 του ύψους της σε θερμαινόμενο λουτρό (PatzHor). Προτού αρχίσει η ξήρανση των δειγμάτων μετρήθηκε η παροχή αερίου ξήρανσης με το Soap Film Flowmeter ώστε η παροχή αερίου να είναι ίδια σε όλες τις ξηράσεις. Η παροχή που χρησιμοποιήθηκε ήταν 108 L/h. Επίσης πριν τη ξήρανση και μετά, τα δείγματα ζυγίζονται ώστε να υπολογιστεί η υγρασία που χάθηκε και να χρησιμοποιηθούν δείγματα με παρόμοιες απώλειες υγρασίας. Αφού γεμίστηκε το θερμαινόμενο λουτρό Patz Hor με γλυκερόλη και σταθεροποιήθηκε η θερμοκρασία της στους 130°C μπαίνουν στην κωνική φιάλη 4 δείγματα με προσοχή έτσι ώστε να μην επικαλύπτονται οι επιφάνειες τους. Ρυθμίζεται η παροχή και το αέριο που θα χρησιμοποιηθεί από το Gas Mixer PBI Max Mix Dansensor 9001 ME και κλείνεται η κωνική με το ειδικό πώμα το οποίο έχει είσοδο και έξοδο (δύο οπές με σωληνάκια προσαρμοσμένα). Η ξήρανση κρατάει 35min και η ίδια διαδικασία γίνεται σε κάθε ξήρανση είτε για το CO₂ είτε για το μίγμα αερίου (79% N₂, 21% O₂). Οι παραπάνω συνθήκες ξήρανσης επιλέχθηκαν μετά από σειρά δοκιμών.

4.2.2 Τηγάνισμα

Το στάδιο του τηγανίσματος πραγματοποιήθηκε σε οικιακή φριτέζα TEFAL UNIVERSALIS 1000 στην οποία προστέθηκε 2,1L ηλιέλαιο ραφινέ απομαργαρισμένο. Με βάση διδακτορικό με παραπλήσιο πείραμα οι πατάτες που τηγανίσθηκαν κάθε φορά είναι σε αναλογία 1kg πατάτα ανά 7L λάδι (Kalogianni, 2007). Τα δείγματα ανά δύο τοποθετήθηκαν σε αυτοσχέδια κλουβάκια αλουμινίου έτσι ώστε να μην ακουμπάνε μεταξύ τους. Επιπλέον ελεύθεροι ράβδοι πατάτας προστέθηκαν ώστε το συνολικό βάρος να είναι σύμφωνα με την αναλογία. Τέλος θερμοκρασιακό προφίλ μετρήθηκε με θερμοστοιχείο συνδεδεμένο σε ηλεκτρονικό καταγραφικό θερμόμετρο Microprocessor Thermometer Omega model HH22 την ώρα του τηγανίσματος. 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 10min. Ο χρόνος τηγανίσματος επιλέχθηκε μετά από σειρά δοκιμών. Μετά την ολοκλήρωση του κάθε κύκλου τηγανίσματος τα δείγματα απομακρύνονταν από τα κλουβάκια και αφήνονταν σε δικτυωτό πλέγμα.

4.3 Μέθοδοι ανάλυσης

4.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας

Τρεις ράβδοι πατάτας κάθε φορά τεμαχίζονται και ομογενοποιούνται σε μπλέντερ και κατόπιν ζυγίζονται με ακρίβεια σε τρυβλίο petri στο οποίο προηγουμένως έχει προσαρμοστεί διηθητικό χαρτί, τοποθετηθεί μία μικρή γυάλινη ράβδος και ζυγιστεί με ακρίβεια. Στην συνέχεια στα δείγματα προστίθενται 2g άμμος θαλάσσης υψηλής καθαρότητας της εταιρίας MERCK και το μίγμα αναμειγνύεται καλά με τη βοήθεια της γυάλινης ράβδου έτσι ώστε η άμμος να απλωθεί ομοιόμορφα σε όλη της επιφάνεια του τρυβλίου. Στην συνέχεια, τα τρυβλία τοποθετούνται σε φούρνο με αέρα στους 103°C και αφήνονται εκεί για 27 ώρες (ο χρόνος ξήρανσης προσδιορίστηκε με προκαταρκτικές μετρήσεις), μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους. Μετά το πέρας των 27 ωρών τα τρυβλία μεταφέρονται σε ξηραντήριο, ώστε να κρυσώσουν χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία τους. Ακολουθεί η ακριβής ζύγιση τους σε αναλυτικό ζυγό.

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

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

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

4.3.2 Προσδιορισμός ελαίου

Δύο ράβδοι πατάτας από κάθε κατηγορία δειγμάτων τοποθετήθηκαν στο Blender Bosch Cerealine 500W θρυμματίστηκαν και έπειτα τοποθετήθηκαν σε τρυβλίο petri, στο οποίο προηγουμένως έχει προσαρμοστεί διηθητικό χαρτί, και ζυγίστηκαν με ακρίβεια. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε φούρνο αέρα Gallen Kamp OV-160 όπου αφέθηκαν στους 103°C για 48h ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία τους. Τα ξηραμένα πλέον δείγματα αφού προηγουμένως ζυγίστηκαν με ακρίβεια μεταφέρθηκαν μαζί με το διηθητικό χαρτί σε φύσιγγα. Στα ποτήρια εκχύλισης της συσκευής προστέθηκαν πέτρες βρασμού και κατόπιν ζυγίστηκαν με ακρίβεια σε ζυγό ακριβείας. Στην συνέχεια αφού τοποθετήθηκαν οι φύσιγγες μέσα στα ποτήρια προστέθηκε 80ml πετρελαϊκός αιθέρας (σ.β. 40-65°C) της εταιρίας PENTA 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 210 min (60 min για την εμφύσηση, 120 min για την έκπλυση και 30 min για την ανάκτηση) και η

συσκευή τέθηκε σε λειτουργία . Μετά το τέλος της εκχύλισης τα ποτήρια μεταφέρθηκαν σε φούρνο με αέρα στους 103°C για 1 ημέρα για την πλήρη απομάκρυνση του διαλύτη. Μετά το πέρας της ημέρας τα ποτήρια μεταφέρθηκαν σε ξηραντήριο, για να κρυώσουν χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία τους και ακολούθως ζυγίστηκαν. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα δείγματα τα οποία ξηράνθηκαν με λυοφιλίωση αντί για ξήρανση σε φούρνο αέρα. Απλώς μετά το πρώτο ζύγισμα τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον καταψύκτη του εργαστηρίου. Στην συνέχεια τα κατεψυγμένα δείγματα μεταφέρθηκαν σε συσκευή λυοφιλίωσης (freeze drier) CHRIST GAMMA 1-20 LMC 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. Όπου η διαδικασία συνεχίστηκε όπως παραπάνω.

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

Δοκιμές γίνανε για να βρεθεί ο βέλτιστος χρόνος εκχύλισης ώστε να πάρουμε όλο το λάδι. Παρατηρήθηκε πως ήταν αδύνατη η εκχύλιση όλου του ελαίου μετά από ξήρανση στους 103°C και έτσι για τις αναλύσεις λιποπεριεκτικότητας επιλέχθηκε ξήρανση με την μέθοδο της λυοφιλίωσης.

4.3.3 Φασματοσκοπία υπερόθρου FTIR

Αφού πρώτα έγινε μέτρηση στον ατμοσφαιρικό αέρα και αποθηκεύτηκε ώστε να αφαιρεθεί από τις μετρήσεις των δειγμάτων, έγιναν μετρήσεις στις πατάτες. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι πατάτας που έχουν υποστεί διαφορετική ξήρανση κόπηκαν με λεπίδα και τμήμα της επιφάνειας τοποθετήθηκε στην κεφαλή του φασματοσκόπου FTIR Thermo Electron Corporation Nicolet 380. Τέλος έγιναν οι μετρήσεις των δειγμάτων, αφαιρέθηκε η μέτρηση του αέρα και έγινε επεξεργασία ώστε να έχουν την ίδια βασική γραμμή.

4.3.4 Προσδιορισμός γωνιών επαφής

Χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι πατάτας και από τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες και κόπηκαν με λεπίδα κομμάτια από την εξωτερική στοιβάδα των ράβδων τα οποία πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο ευθεία να μην έχουν κλίση ούτε να είναι ιδιαίτερα τραχιά. Τοποθετήθηκαν στο Optical Contact Angle Meter Cam 200 KSV Instruments LTD και μια σταγόνα τη φορά ηλιέλαιου ραφινέ απομαργαρινωμένου αφέθηκε ελεύθερη να πέσει από μικρή απόσταση πάνω στα δείγματα από την

ειδική σύριγγα του οργάνου. Ταυτόχρονα άρχισε να καταγράφει το όργανο. Επίσης φωτογραφίες της σταγόνας πάνω στο δείγμα παίρνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα αρχίζοντας πάντα με μια φωτογραφία σε χρόνο 0 s.

4.3.5 Μέτρηση πόρων με τη μέθοδο της τριχοειδούς διείδυσης

Από τα δείγματα πάρθηκε η κρούστα που είχε σχηματιστεί με τη βοήθεια ξυραφιού. Οι κρούστες αυτές τις στερεώθηκαν σε μεταλλικά τσιμπιδάκια ώστε να μη σπάσουν και ακολούθησε λυοφιλίωση. Ύστερα απομακρύνθηκε το έλαιο με εκχύλιση (παρ. 4.3.2). Τέλος αυτές οι κρούστες χρησιμοποιήθηκαν για τη μέθοδο της τριχοειδούς διείδυσης. Τοποθετήθηκαν στο Optical Contact Angle Meter Cam 200 KSV Instruments LTD σε κατακόρυφη θέση ώστε να μπορούν να βουτηχτούν σε κυψελίδα με το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο. Μόλις η άκρη της κρούστας ακουμπήσει το υγρό αρχίζει η λήψη φωτογραφιών με το όργανο ανά 30 δευτερόλεπτα για 20 λεπτά. Από τα αποτελέσματα ύψους και χρόνου προκύπτει ο ρυθμός διαβροχής (h^2/t) και κατόπιν αντικαθιστώντας στην σχέση του Washburn $h^2/t = (r*\gamma*\cos\theta)/n$ και θεωρώντας ότι $\theta=0^\circ$ για τα σιλοξάνια (Kalogianni, 2007) υπολογίζεται η ακτίνα του μέσου πόρου (effective pore radius).

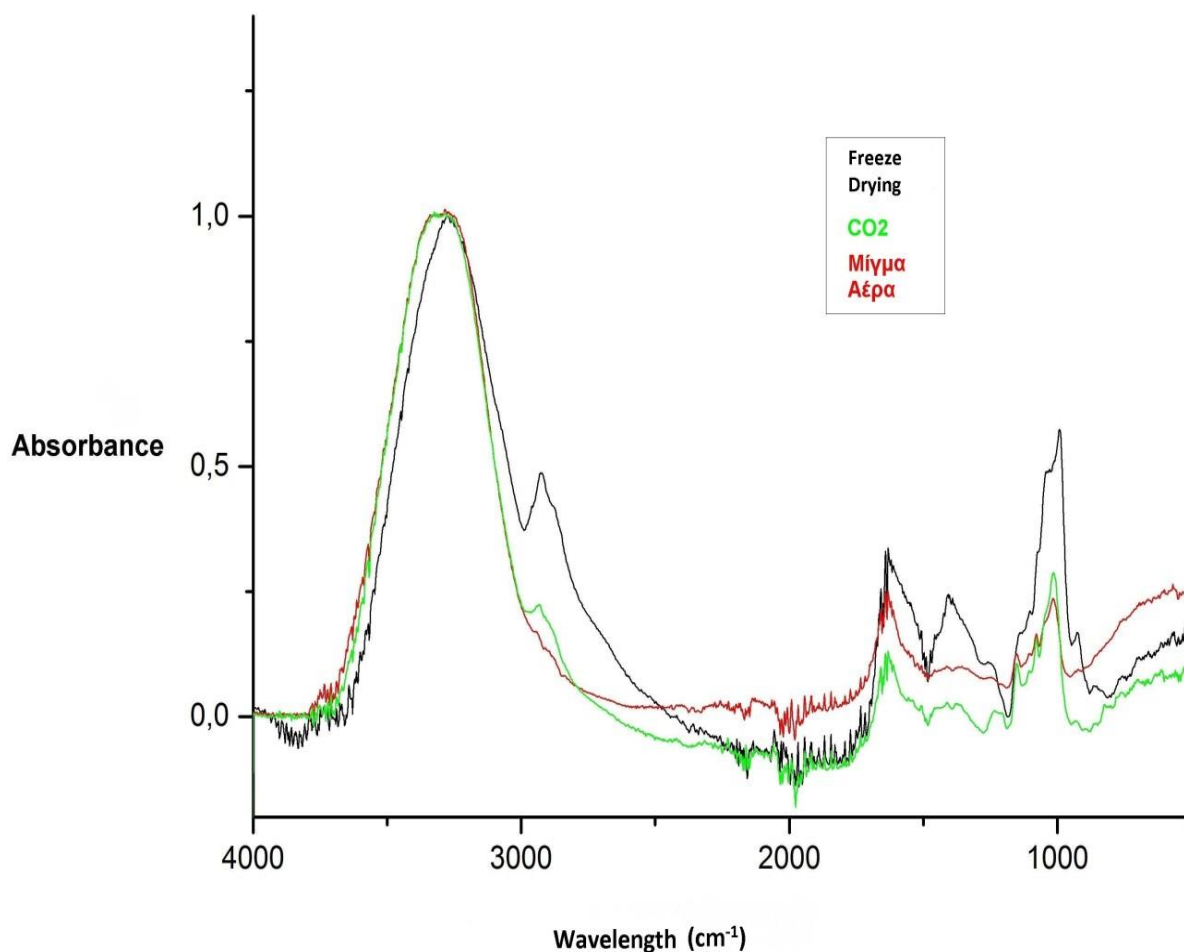
5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

5.1 Επίδραση της ξήρανσης στις ιδιότητες της επιφάνειας της πατάτας

5.1.1 Χαρακτηρισμός επιφάνειας με φασματοσκοπία υπερόθρου FTIR

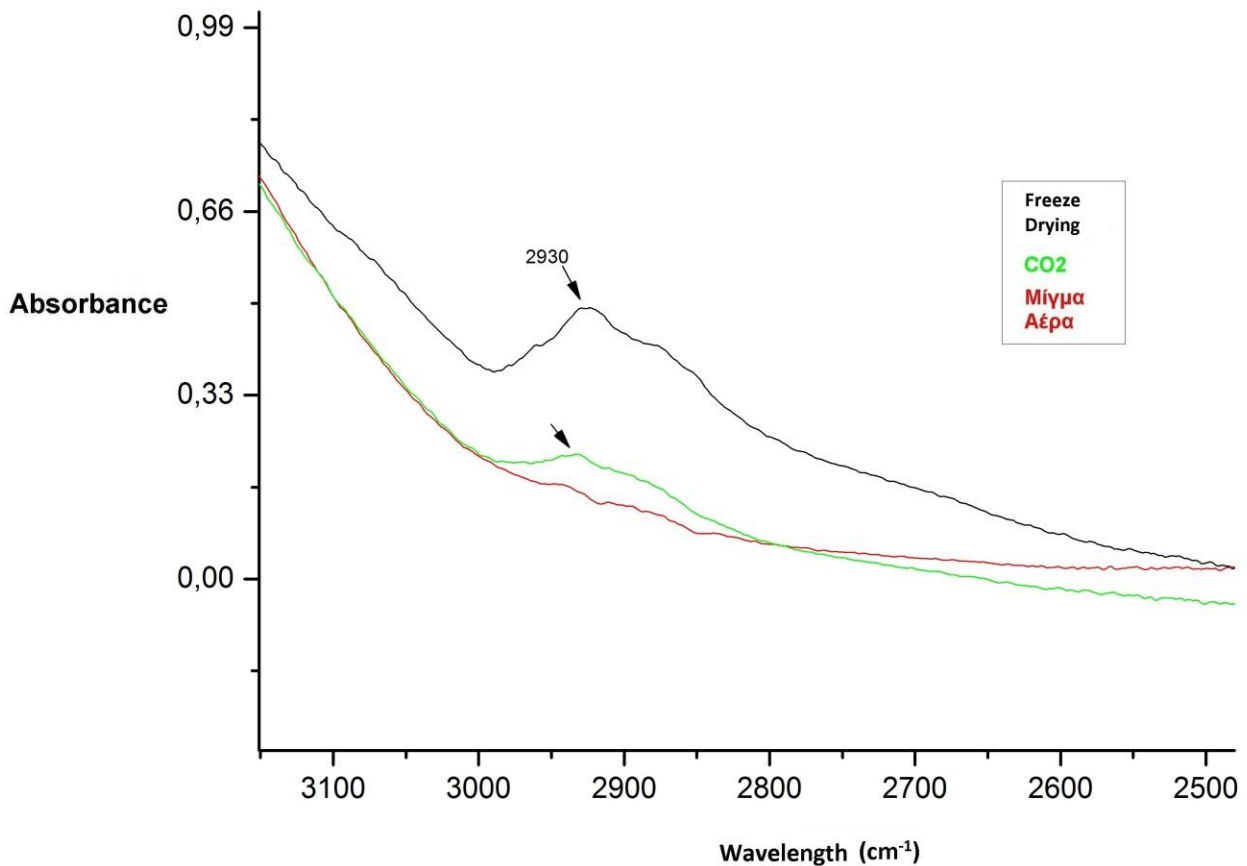
Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται ένα γράφημα FTIR πατάτας που έχει υποστεί ξήρανση με 3 διαφορετικούς τρόπους (λυοφιλίωση, σε ατμόσφαιρα CO₂ και σε ατμόσφαιρα με μίγμα οξυγόνου αζώτου 21-79% που προσομοιάζει τον αέρα). Οι κορυφές αντιπροσωπεύουν τις διάφορες δονήσεις των χημικών ομάδων που υπάρχουν στα συστατικά των δειγμάτων. Προσδιορισμός και ταυτοποίηση των ομάδων έγινε με βάση τη συχνότητα που απορροφούν οι χημικές ομάδες στη μέση υπέρυθρη περιοχή (MIR). Η χρήση της λυοφιλίωσης επιλέχθηκε ως μέθοδος αναφοράς αφού είναι αποδεκτό ότι λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται, η θερμική αλλοίωση/υποβάθμιση του προς ξήρανση τροφίμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Γενικά το φάσμα του δείγματος που υπέστη ξήρανση με χρήση αδρανούς ατμόσφαιρας CO₂ έχει περισσότερες ομοιότητες με το αντίστοιχο φάσμα της λυοφιλίωσης από ότι το φάσμα του δείγματος που υπέστη ξήρανση με αέρα. Για

παράδειγμα υπάρχει εμφανής διαφορά στην απορρόφηση στην περιοχή $2850-3000\text{cm}^{-1}$. Σύμφωνα με τους Sivakesava & Irudayaraj, (2000) στην περιοχή αυτή η απορρόφηση οφείλεται στη δόνηση στρέψης της ομάδας C-H.



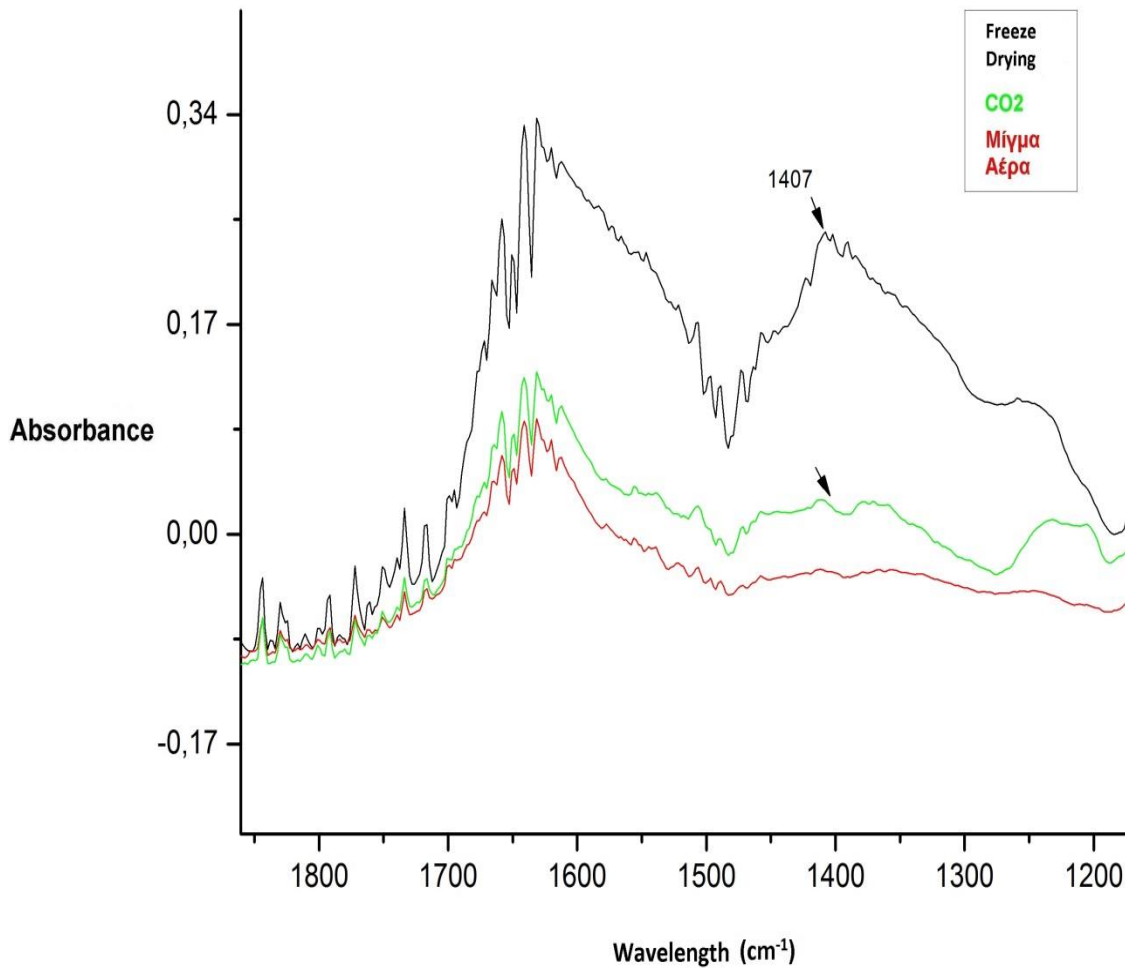
Σχήμα 6: Γράφημα FTIR πατάτας ξηραμένης με 3 διαφορετικούς τρόπους.

Επίσης τα άπολα λίπη και τα έλαια έχουν ισχυρή C-H δόνηση στρέψης μεταξύ 3000 και 2850 cm^{-1} . Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, στο δείγμα που έχει υποστεί ξήρανση με μίγμα αέρα η απορρόφηση σε αυτήν την περιοχή έχει πρακτικά μηδενιστεί, ενώ στο δείγμα με CO₂ η απορρόφηση είναι μεν ελαττωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη του δείγματος της λυοφιλίωσης αλλά υπαρκτή.



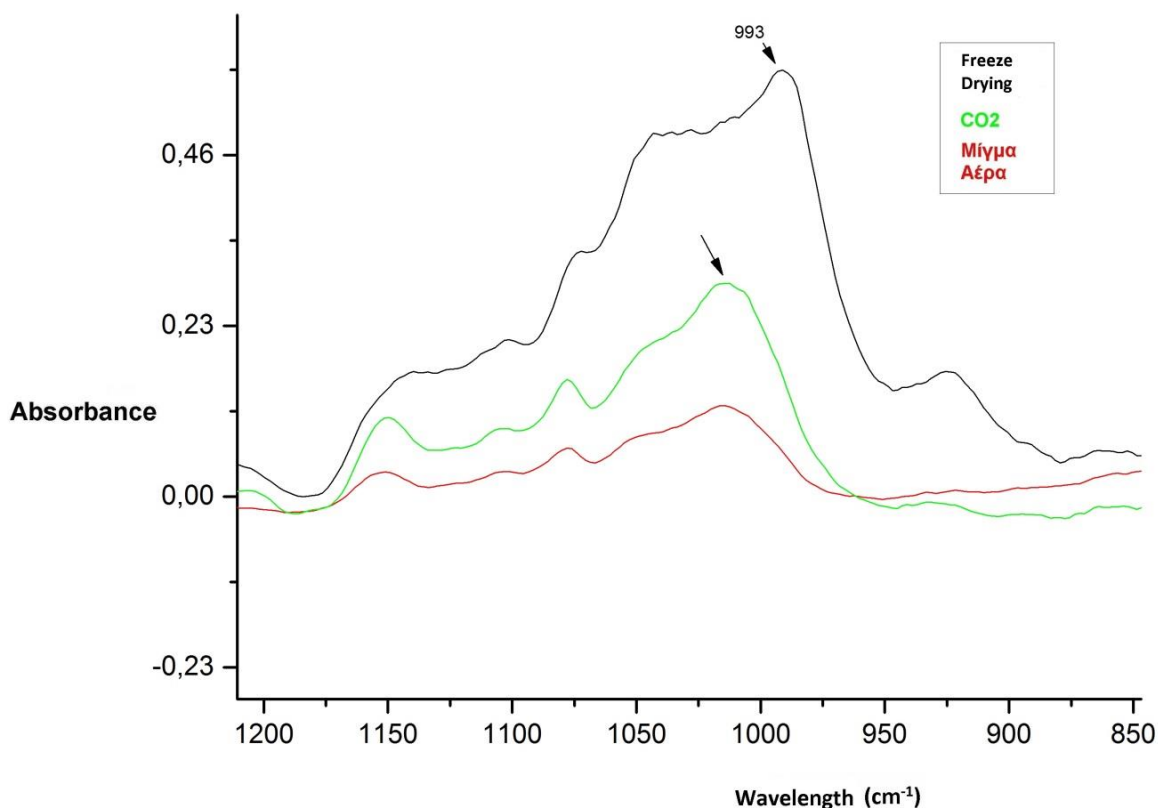
Σχήμα 7: Φάσμα απορρόφησης λιπών και ελαίων

Επιπλέον σύμφωνα με τους Sivakesava & Irudayaraj, 2000 οι πρωτεΐνες εμφανίζουν έντονες δονήσεις C=O, C-N περίπου στα 1652 cm^{-1} ενώ περίπου στα 1640 cm^{-1} εμφανίζει έντονη δόνηση O-H το νερό. Στο Σχήμα 8 διακρίνουμε έντονη απορρόφηση του δείγματος που έχει υποστεί λυοφιλίωση στο φάσμα από 1700 έως 1200 cm^{-1} , και ενώ στις παραπάνω κορυφές τα δυο άλλα δείγματα έχουν την ίδια συμπεριφορά, στο φάσμα 1480 με 1350 το δείγμα που έχει υποστεί ξήρανση με CO₂ φαίνεται να έχει περισσότερες ομοιότητες με το λυοφιλιωμένο. Οι κορυφές που εμφανίζονται στο φάσμα αυτό είναι δονήσεις καμπής C-H.



Σχήμα 8: Φάσμα απορρόφησης πρωτεϊνών και νερού

Το φάσμα μεταξύ 950 και 1153 cm^{-1} εκπροσωπεί το άμυλο και τα σάκχαρα στη πατάτα (Sivakesava and Irudayaraj, 2000). Στο Σχήμα 9 παρατηρείται η έντονη απορρόφηση που εμφανίζει το λυοφιλωμένο δείγμα. Επίσης ενώ η απορρόφηση που φαίνεται να έχει το ξηραμένο δείγμα με CO_2 είναι μειωμένη πλησιάζει αρκετά περισσότερο σε αυτή του λυοφιλωμένου δείγματος, συγκριτικά με του ξηραμένου δείγματος με μίγμα αέρα.



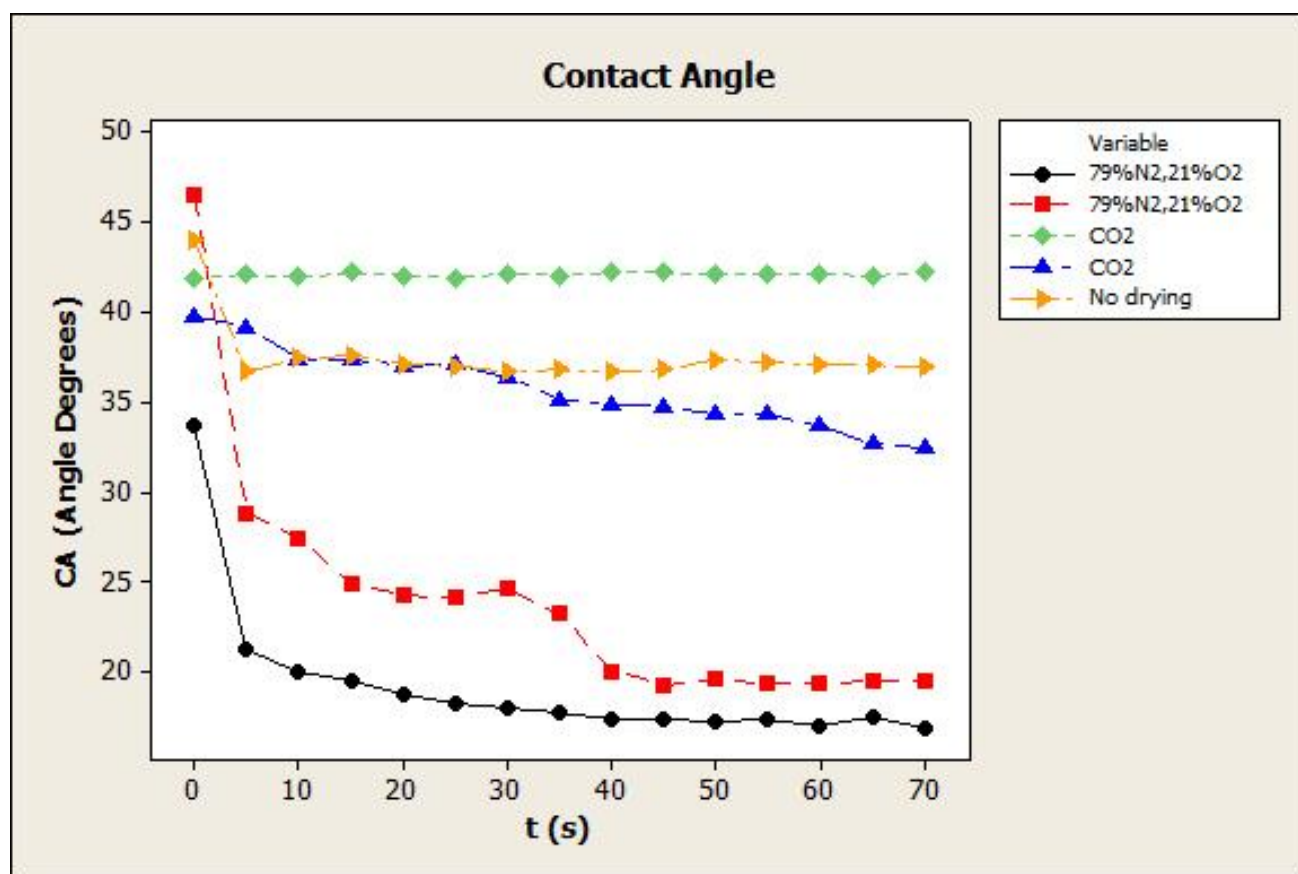
Σχήμα 9: Φάσμα απορρόφησης σακχάρων και αμύλου

5.1.2 Μέτρηση γωνίας επαφής

Οι ιδιότητες διαβροχής μίας στερεάς επιφανείας από ένα υγρό εκφράζεται από τη γωνία επαφής μεταξύ του υγρού και του στερεού. Η έννοια της γωνίας επαφής απεικονίζεται από μία μικρή σταγόνα υγρού η οποία ακουμπά σε επίπεδη, οριζόντια στερεή επιφάνεια. Όταν η γωνία επαφής πλησιάζει την τιμή μηδέν, το υγρό απλώνεται πάνω στο στερεό, διαβρέχοντας το. Εναλλακτικά, για μια τιμή υψηλότερη από 90 μοίρες το υγρό δεν διαβρέχει το στερεό και δεν εισέρχεται στους τριχοειδείς πόρους. Έτσι, στο βαθύ τηγάνισμα, η γωνία επαφής είναι από τους παράγοντες που καθορίζουν ποιοί πόροι θα καλυφθούν από το λάδι (Rossi et al., 2009).

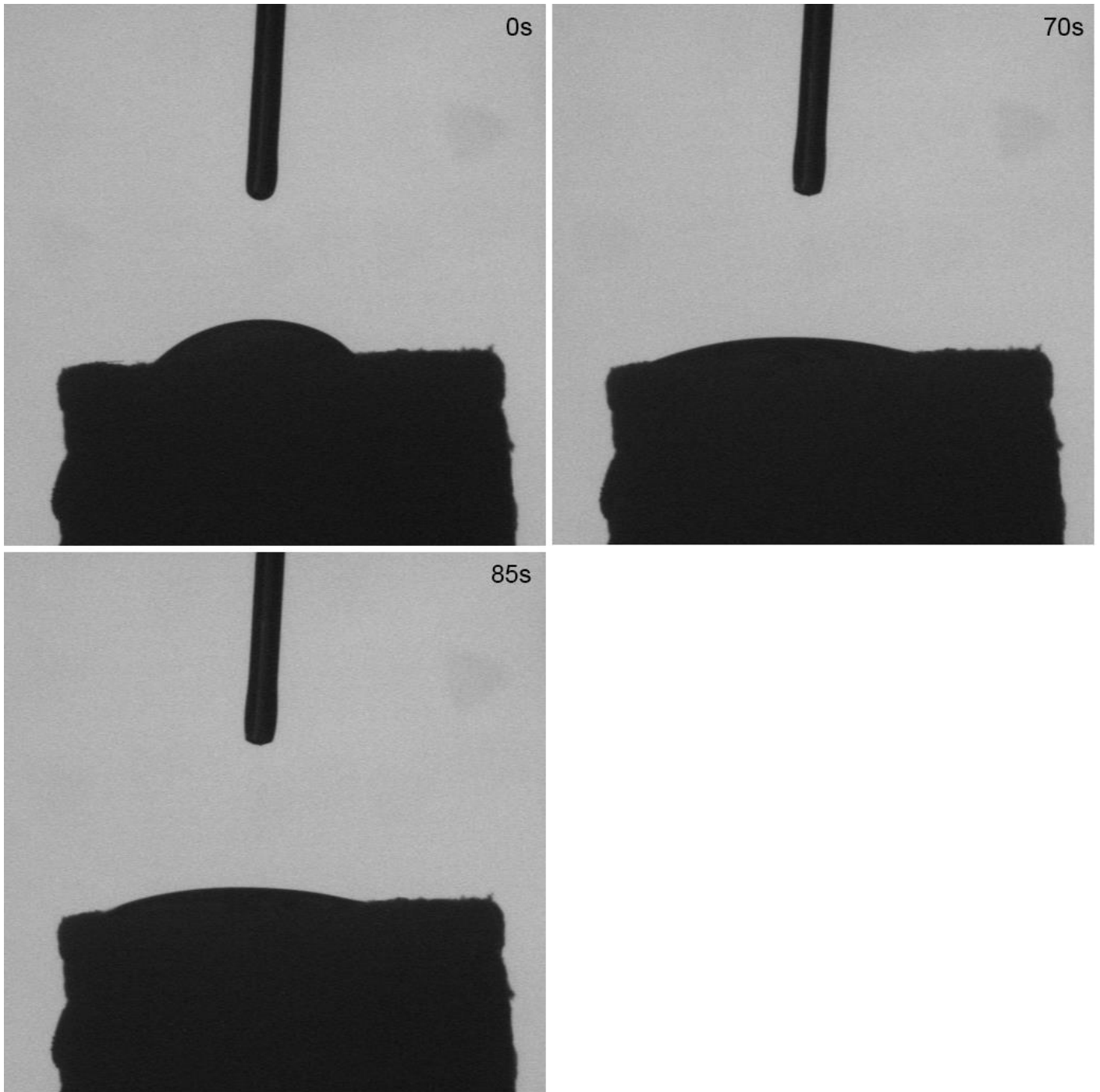
Όπως αναφέρθηκε όσο η τιμή της γωνία επαφής πλησιάζει τις 0 μοίρες η διαβροχή γίνεται πιο έντονη, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όσο η τιμή πλησιάζει τις 90 μοίρες. Στο Σχήμα 10 φαίνονται οι τιμές που παίρνει η γωνία επαφής σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε δείγμα που έχει υποστεί

διαφορετικό είδος ξήρανσης. Παρατηρείται ότι τα δείγματα που ξηράνθηκαν με CO₂ και αυτά που δεν ξηράνθηκαν έχουν μεγαλύτερη γωνία επαφής, αυτό συνεπάγεται μικρότερη διαβροχή από το έλαιο.

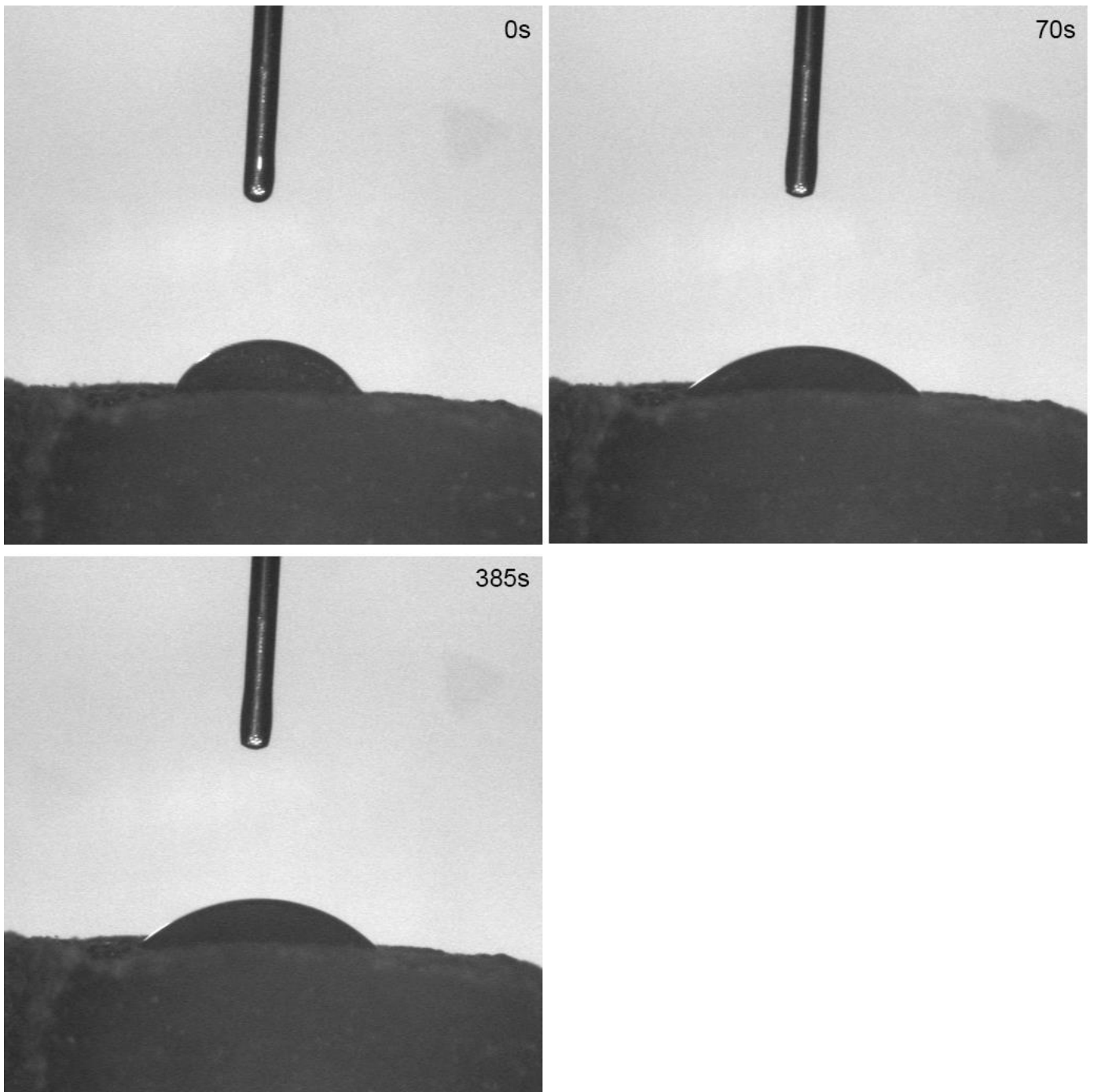


Σχήμα 10: Γωνίες επαφής ξηραμένων δειγμάτων πατάτας

Η ξήρανση με διαφορετικά αέρια φαίνεται να επιδρά στις ιδιότητες της επιφάνειας των πατατών. Η ξήρανση με CO₂ έδειξε πολύ μικρότερη μείωση της γωνίας επαφής ελαίου πατάτας σε σύγκριση με τη ξήρανση με συνθετικό αέρα. Αυτό φαίνεται και στις φωτογραφίες που πάρθηκαν από το όργανο Optical Contact Angle Meter Cam 200 σε διάφορους χρόνους. Στο Σχήμα 11 είναι το ξηραμένο δείγμα πατάτας με μίγμα αερίου (79%N₂, 21%O₂). Όπως φαίνεται υπάρχει σχεδόν πλήρης διαβροχή από τη σταγόνα ηλιέλαιου μέσα στα πρώτα 85 δευτερόλεπτα. Σε αντίθεση με το Σχήμα 12 όπου είναι το ξηραμένο δείγμα με CO₂ φαίνεται να έχει πολύ μικρή διαβροχή έστω και μετά από αρκετά λεπτά (385s).



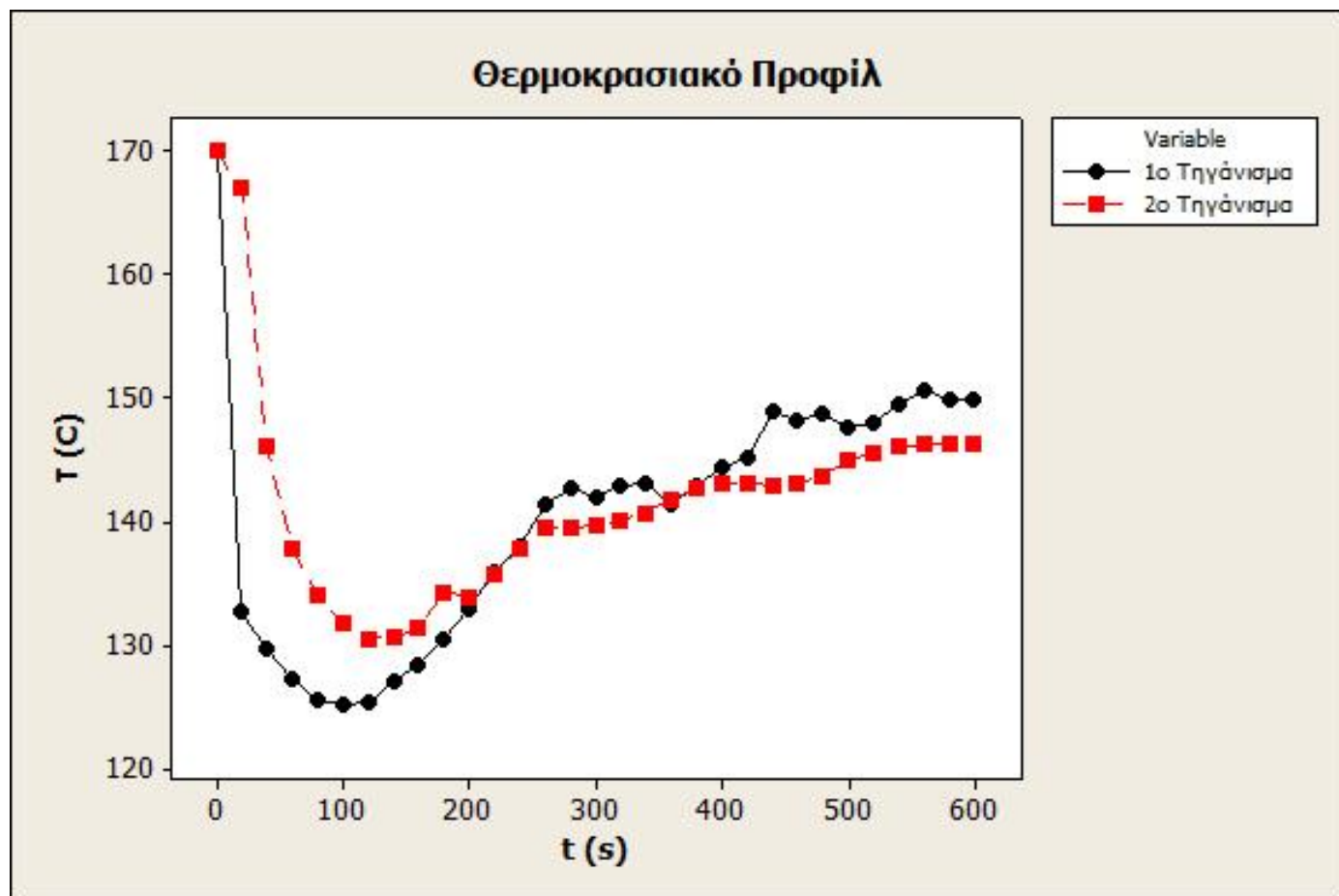
Σχήμα 11: Στιγμιότυπα διαβροχής από Optical Contact Angle Meter Cam 200 ξηραμένου δείγματος πατάτας με μίγμα αερίου ($79\%N_2$, $21\%O_2$) από ηλιέλαιο.



Σχήμα 12: Στιγμιότυπα διαβροχής από Optical Contact Angle Meter Cam 200 ξηραμένου δείγματος πατάτας με CO₂ από ηλιέλαιο.

5.2 Επίδραση ξήρανσης και τηγανίσματος στην υγρασία της πατάτας

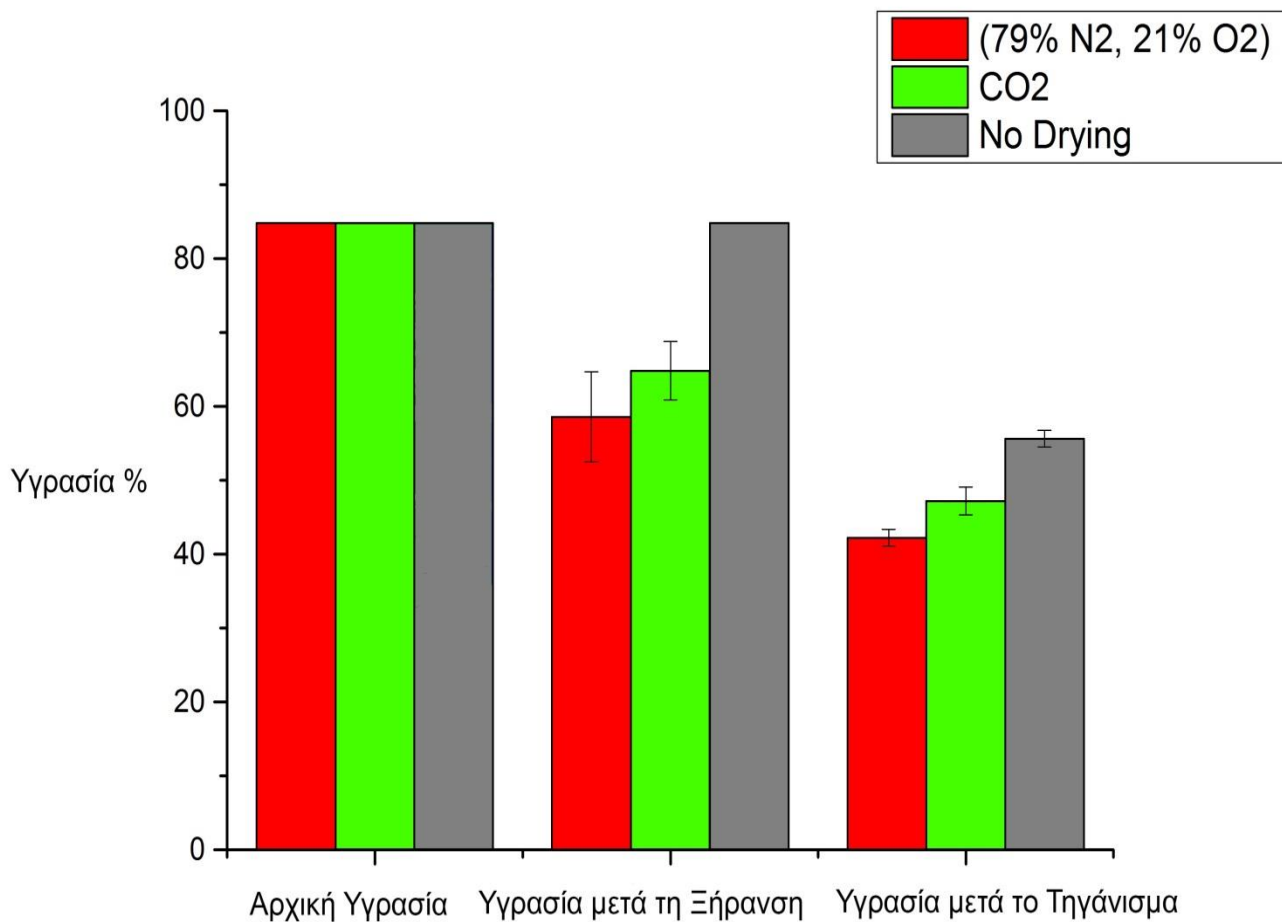
Στο βαθύ τηγάνισμα η πατάτα, η οποία έχει υγρασία, πέφτει στο καυτό λάδι τυπικά σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 120 και 180 °C σε ατμοσφαιρική πίεση (Vitrac et. al., 2000).



Σχήμα 13: Θερμοκρασιακό προφίλ τηγανίσματος

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται το προφίλ θερμοκρασιών των 2 βασικών τηγανισμάτων για χρονικό διάστημα δέκα λεπτών και αρχική θερμοκρασία λαδιού 170°C. Μόλις εισέρθουν οι πατάτες στο λάδι έχουμε έντονη πτώση της θερμοκρασίας του λαδιού, αλλά από ένα χρονικό σημείο και έπειτα υπάρχει σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας, χωρίς βέβαια να προλαβαίνει το λάδι να ξανά φτάσει τη θερμοκρασία εκκίνησης τηγανίσματος. Η ελάχιστη θερμοκρασία τηγανίσματος είναι 127,9 °C.

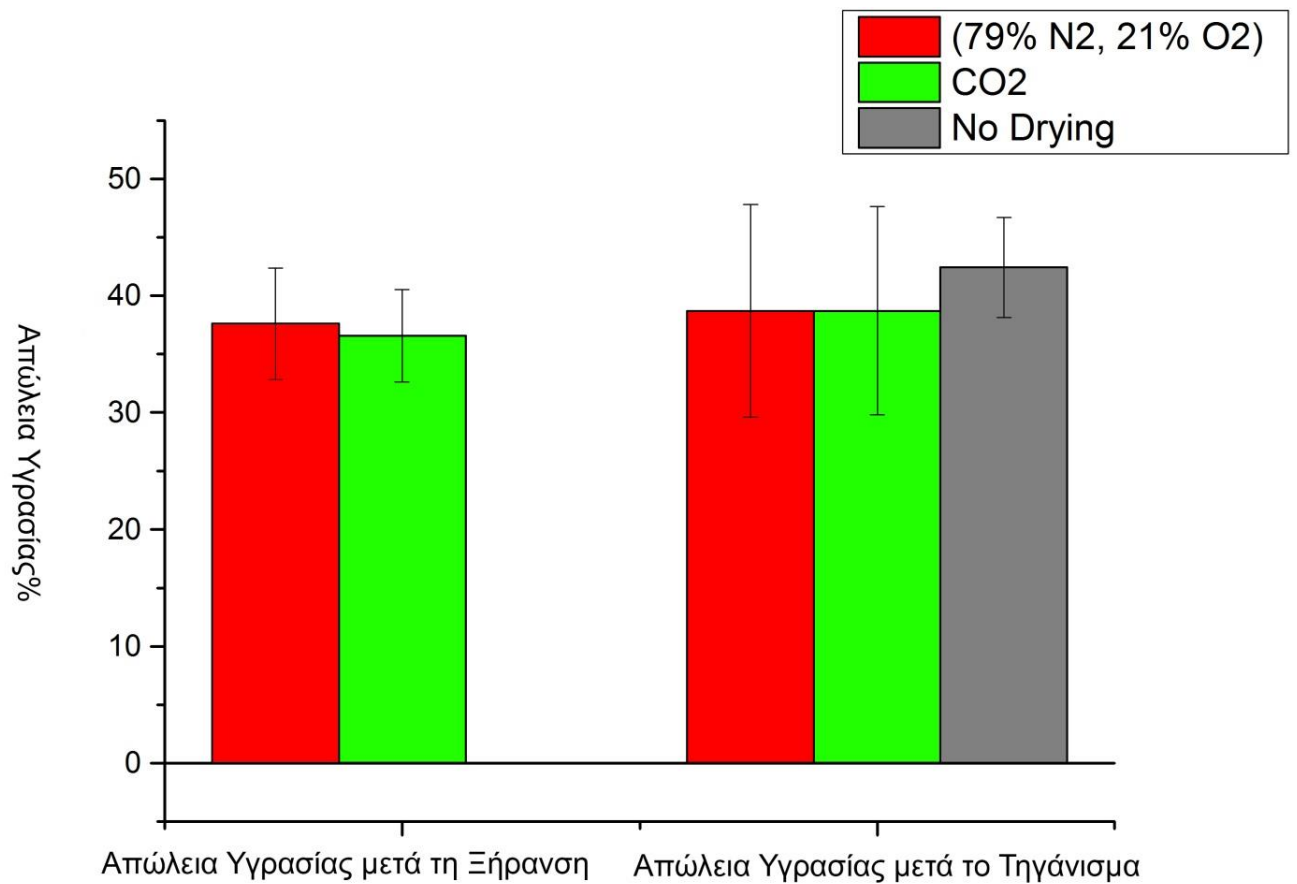
Η διακύμανση της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πειραμάτων είναι αναμενόμενη για τέτοιου τύπου πειράματα (Kalogianni, 2007).



Σχήμα 14: Υγρασίες δειγμάτων πατάτας (Αρχική Υγρασία, Μετά τη Ξήρανση, Μετά το Τηγάνισμα)

Στο Σχήμα 14 φαίνεται η υγρασία των δειγμάτων αναλόγως τη ξήρανση που έχουν υποστεί και σε τρία διαφορετικά σημεία κατά τη παραγωγή των τηγανιτών πατατών. Αν και τα δείγματα έχουν ξηρανθεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες παρατηρείται ότι το δείγμα που υπέστη ξήρανση με μίγμα αέρα έχει λιγότερη υγρασία μετά τη ξήρανση σε σύγκριση με αυτό που ξηράνθηκε με CO₂. Παρόλα αυτά οι διαφορές δεν φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές. Μικρές διαφορές στην υγρασία παρατηρούνται και για τις δύο μεθόδους ξήρανσης ενώ μεγαλύτερες είναι οι διαφορές σε σχέση με τις πατάτες που δεν έχουν υποστεί ξήρανση.

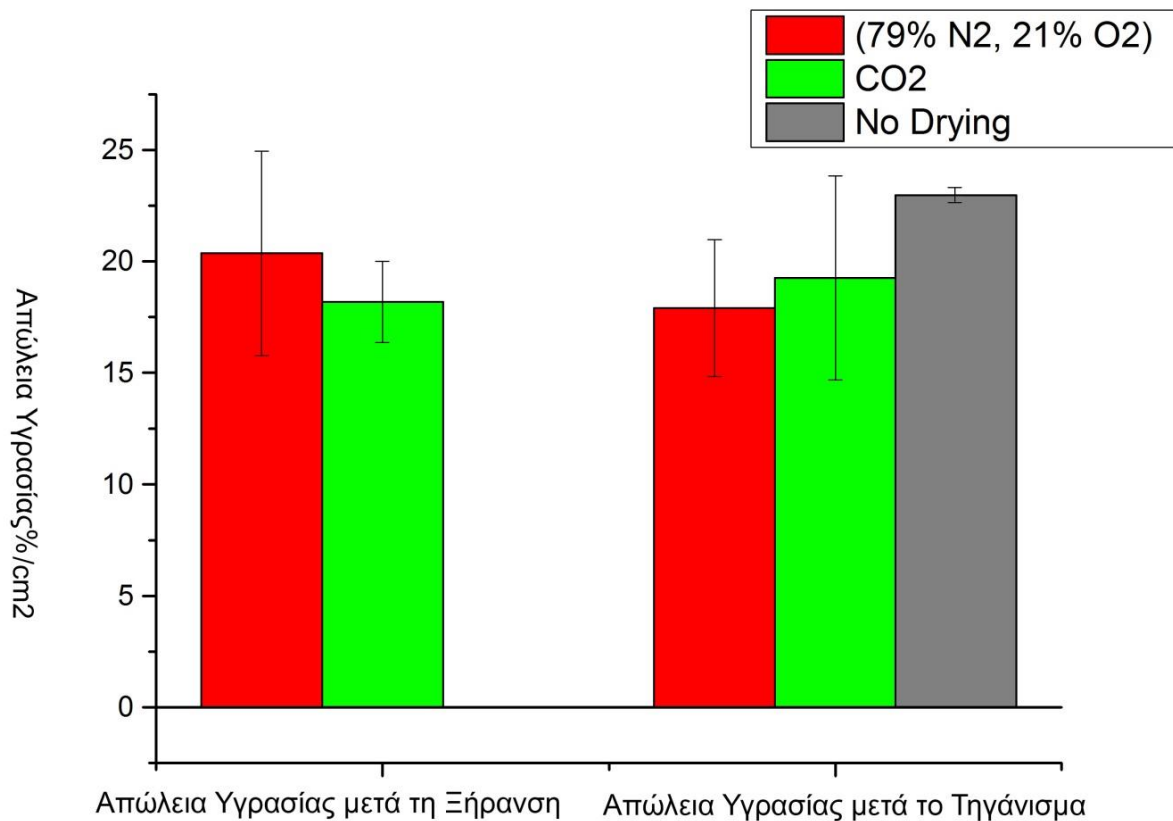
Σύμφωνα με τους Krokida et al., (2000) η ξήρανση μειώνει την αρχική περιεχόμενη υγρασία των τηγανιτών πατατών. Αυξημένος χρόνος ξήρανσης υποδεικνύει μειωμένη υγρασία για να απομακρυνθεί κατά το τηγάνισμα.



Σχήμα 15: Απώλειες Υγρασίας ξηραμένων δειγμάτων πατάτας (Αρχική, Μετά τη Ξήρανση, Μετά το Τηγάνισμα)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15 η απώλεια υγρασίας μετά τη ξήρανση και το τηγάνισμα δε διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων. Η μεγάλη διακύμανση των τιμών είναι αναμενόμενη για τον τύπο των προϊόντων που μελετώνται.

Όταν τα αποτελέσματα της υγρασίας εκφραστούν ως προς την εξωτερική επιφάνεια της πατάτας (Σχήμα 16) δε παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η μεγαλύτερη τάση απώλειας υγρασίας μετά το τηγάνισμα της πατάτας που δεν έχει υποστεί ξήρανση οφείλεται ενδεχομένως στη μερική συρρίκνωση των πατατών που έχουν ξηρανθεί.



Σχήμα 16: Απώλειες Υγρασίας βάση αρχικής επιφάνειας ξηραμένων δειγμάτων πατάτας (Αρχική, Μετά τη Ξήρανση, Μετά το Τηγάνισμα)

5.3 Επίδραση της ξήρανσης και του τηγανίσματος στα χαρακτηριστικά δομής της πατάτας

Κατά την διάρκεια του τηγανίσματος, είναι προφανές ότι ένα πορώδες μέσο αναπτύσσεται εξαιτίας των δομικών μεταβολών στην επιφάνεια του προϊόντος. Φυσικές ιδιότητες, όπως η πυκνότητα, συρρίκνωση και το πορώδες, είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή και τα φαινόμενα μεταφοράς (Ziaifarfard et al., 2008).

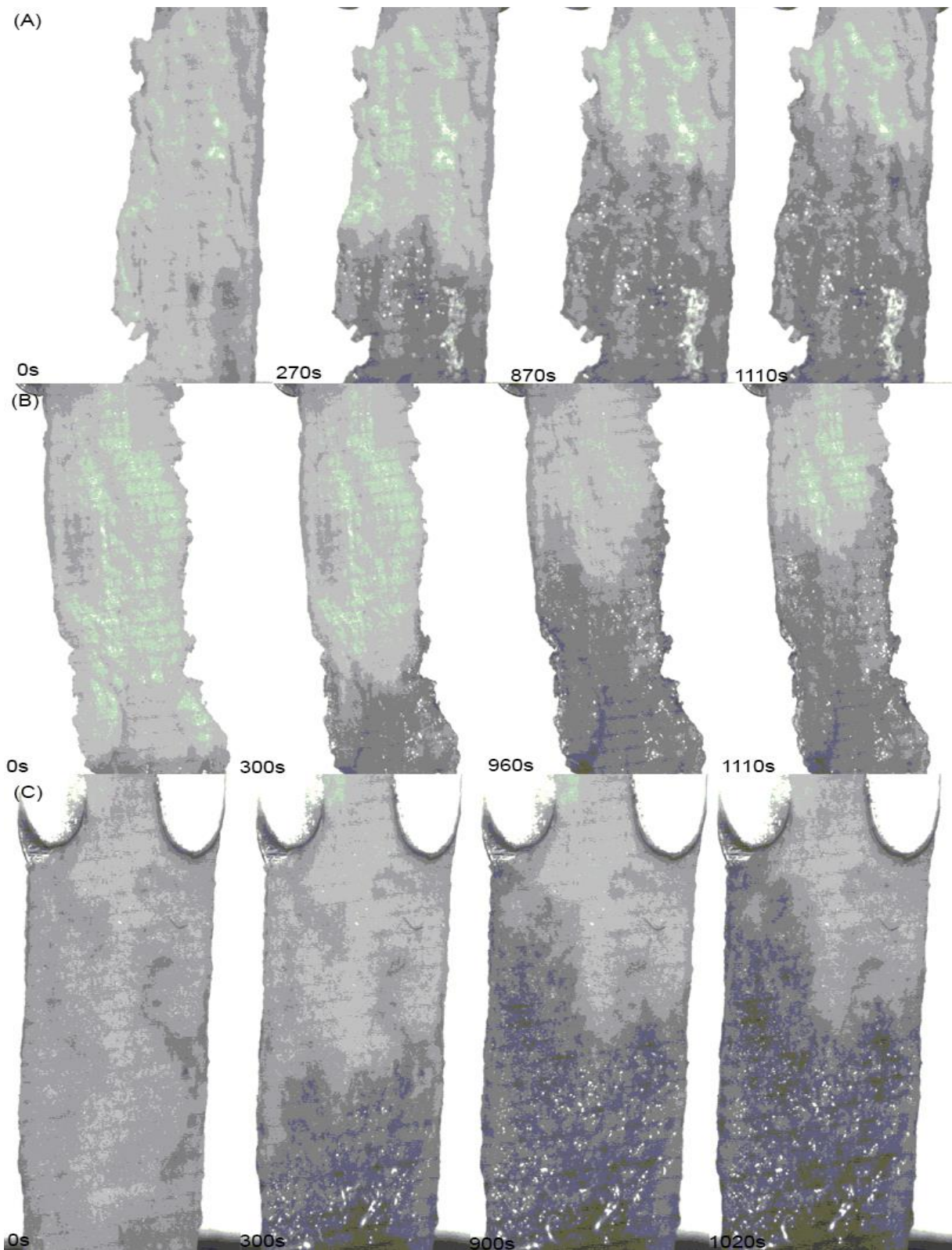
Όταν οι τηγανιτές πατάτες αφαιρούνται από το τηγάνισμα, λάδι απορροφάται από τη κρούστα μέσω ενός διασυνδεδεμένου δικτύου πόρων και κοιλοτήτων που άφησε η διαφυγή του ατμού. Η ροή που δημιουργείται από τη πίεση του κενού που προκαλείται από την συμπύκνωση του ατμού και τη

τριχοειδούς αναρρόφησης, πιστεύεται ότι είναι από τους σημαντικότερους μηχανισμούς απορρόφησης ελαίου στην κρούστα (Miranda and Aguilera, 2006).

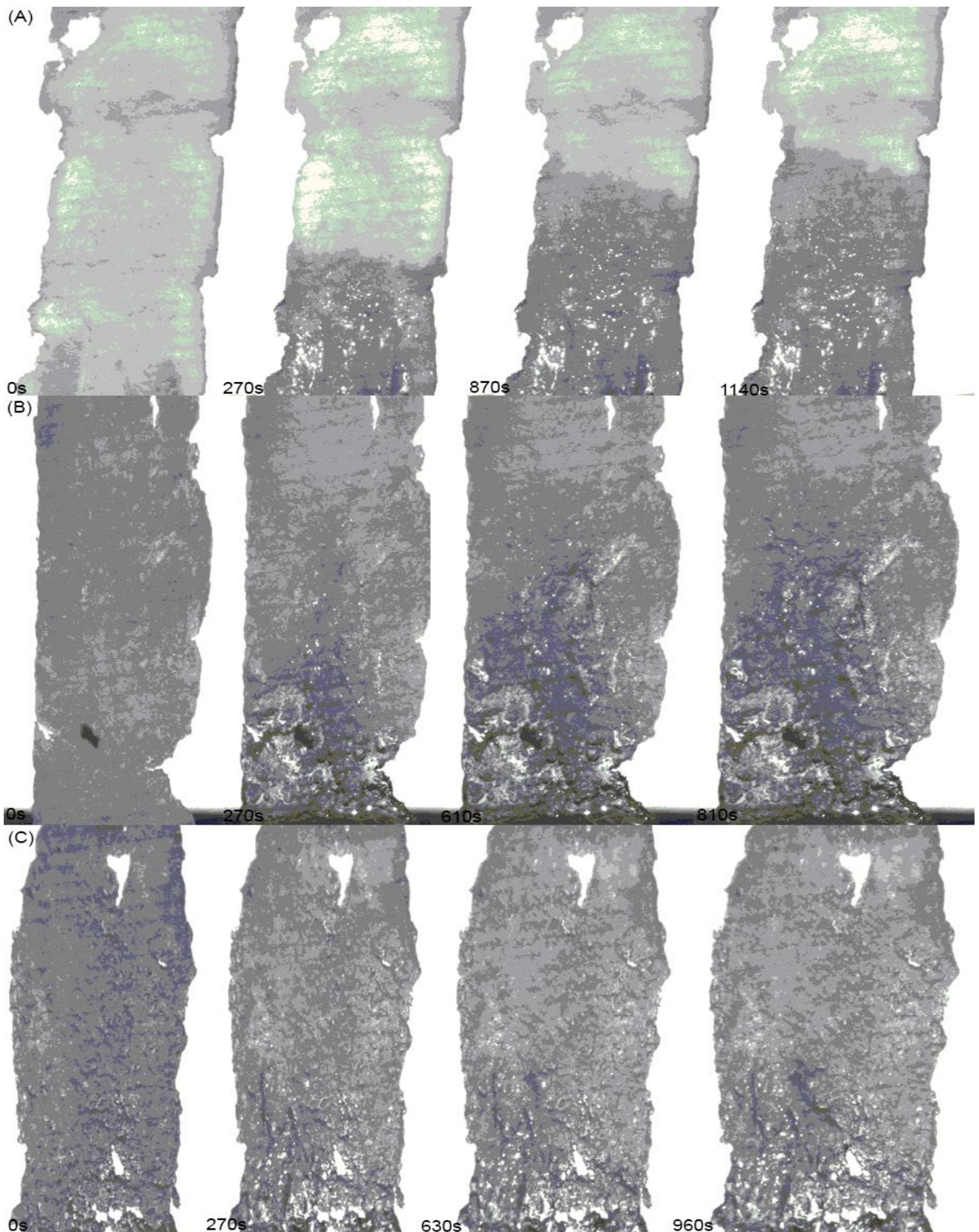
5.3.1 Μεγέθη πόρων της πατάτας

Πολύπλοκα φυσικά και χημικά φαινόμενα έχουν αναφερθεί κατά τη διάρκεια του σχηματισμού της κρούστας. Αυτά περιλαμβάνουν ζελατινοποίηση του αμύλου, η αλλαγή στο σχήμα και το μέγεθος των κυττάρων καθώς και τη διάσπαση του ιστού. Ο προσδιορισμός του μεγέθους των πόρων και των επιπτώσεων των μεταβλητών του τηγανίσματος στη πορώδη δομή των τηγανισμένων τροφίμων μπορεί να συμβάλει στη κατανόηση των πολύπλοκων αλλαγών που επέρχονται κατά το τηγάνισμα. Επιπλέον, μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες σχετικές με τη κατανόηση και μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας και μάζας εντός της πατάτας και των μηχανισμών και φαινομένων που σχετίζονται με τη πρόσληψη ελαίου (Kalogianni and Papastergiadis, 2014).

Στα Σχήματα 17 και 18 παρουσιάζονται φωτογραφίες από δείγματα πατάτας που έχουν επεξεργαστεί διαφορετικά. Παρατηρείται ότι όσο περνάει ο χρόνος το σιλοξάνιο διεισδύει όλο και περισσότερο στη πορώδη δομή της. Ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο πόρων στο εσωτερικό της κρούστας σε ότι αφορά τις τηγανιτές πατάτες κάτι που παρατηρήθηκε και στο παρελθόν (Fragiadaki et al., 2012) (Kalogianni and Papastergiadis, 2014b). Ενώ σε ότι αφορά τις υπόλοιπες πατάτες δείχνουν τη δυνατότητα δημιουργίας ενός τέτοιου δικτύου μετά την απομάκρυνση της υγρασίας χωρίς να διάρρηξη των κυτταρικών τοιχωμάτων που παρατηρείται τοπικά κατά το τηγάνισμα. Αυτό το σύστημα σύμφωνα με τους Kalogianni & Papastergiadi, (2014) παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση ελαίου από τη πατάτα. Θα μπορούσε κανείς να περιμένει όσο μικρότερη είναι η ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος τριχοειδών αγγείων στη κρούστα, τόσο επιβραδυνόμενη να είναι και η απορρόφηση λαδιού.

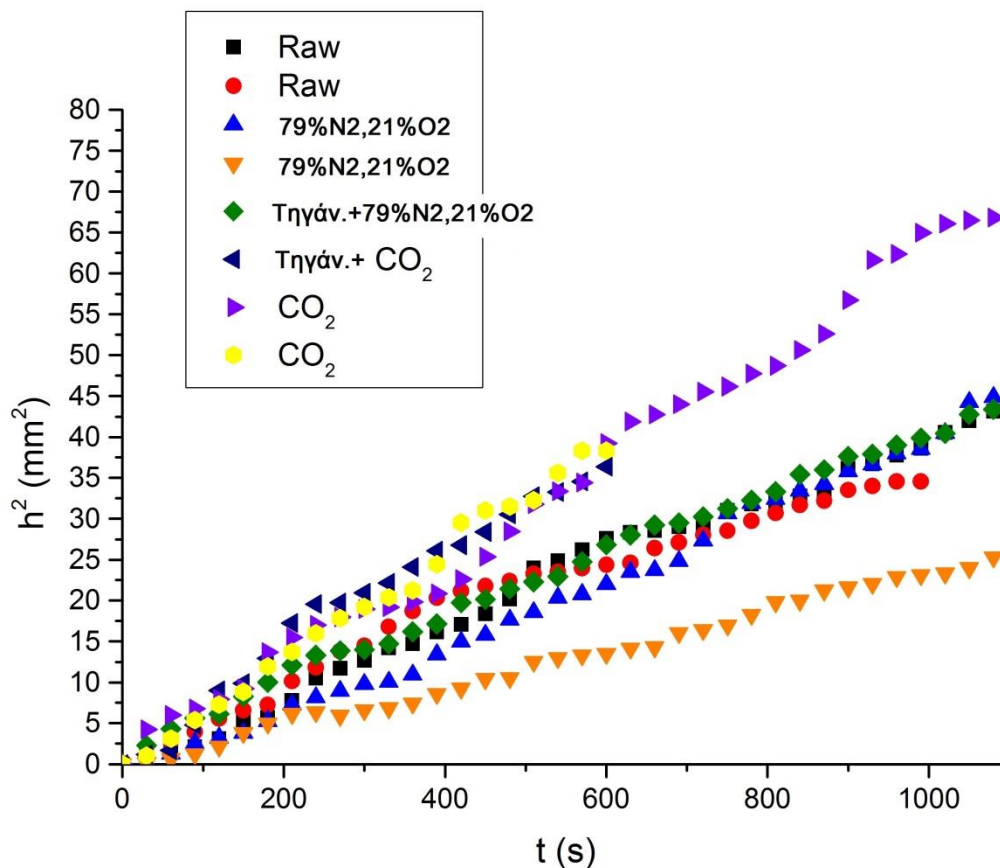


Σχήμα 17: Στιγμιότυπα μεθόδου τριχοειδούς διείσδυσης (A) ξηραμένου δείγματος με 79%N₂,21%O₂, (B) ξηραμένου δείγματος με CO₂, (C) ωμού δείγματος πατάτας



Σχήμα 18: Στιγμιότυπα μεθόδου τριχοειδούς διείσδυσης (A) ξηραμένου δείγματος με 79%N₂,21%O₂, (B) ξηραμένου δείγματος με CO₂, (C) δείγματος πατάτας που δεν έχει ξηρανθεί, και έπειτα τηγανισμένων

Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται ο ρυθμός τριχοειδούς διείσδυσης (h^2 vs t) όπου φαίνεται ότι τα δείγματα που έχουν ξηρανθεί με CO_2 έχουν το μεγαλύτερο ρυθμό συγκριτικά με τα άλλα. Ο παρατηρούμενος ρυθμός διαβροχής εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων και το δαιδαλώδες της πορώδους δομής. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει και η ακτίνα (effective) του πορώδους μέσου.



Σχήμα 19: Διάγραμμα διαβροχής δειγμάτων πατάτας, που έχουν υποστεί διαφορετική επεξεργασία, από σιλοξάνη ιξώδους 47.9 mPa*s.

Στον Πίνακα 2 είναι οι τιμές της ακτίνας των πόρων όπως υπολογίσθηκαν από τη μέθοδο της τριχοειδούς διείσδυσης για δείγματα πατάτας που έχουν υποστεί διαφορετική επεξεργασία. Η ενεργή ακτίνα των πόρων εκφράζει το πραγματικό μέγεθος των πόρων σε σχέση με το δαιδαλώδες των πόρων. Φαίνεται το μέγεθος της ενεργής ακτίνας των πόρων να είναι μεγαλύτερο στα δείγματα που ξηράνθηκαν με CO_2 . Αντίστοιχα μεγαλύτεροι πόροι παρατηρούνται και στα δείγματα που τηγανίσθηκαν μετά από ξήρανση σε CO_2 .

Πίνακας 2: Τιμές δειγμάτων πατάτας ενεργής ακτίνας πόρων ανάλογα με την επεξεργασία που έχουν δεχθεί

Είδος Επεξεργασίας	Κλίση (m ² /s)	Τυπ.Απόκλιση	r (μm)	Τυπ.Απόκλιση
Μόνο Ξήρανση (CO ₂)	0,000000065	0,00000002121	0,232	0,0076
Μόνο Ξήρανση (CO ₂)	0,000000062		0,221	
Μόνο Ξήρανση (79%N ₂ ,21%O ₂)	0,000000039	0,00000001313	0,139	0,0404
Μόνο Ξήρανση (79%N ₂ ,21%O ₂)	0,000000023		0,082	
Ωμές χωρίς Ξήρανση	0,000000039	0,00000007071	0,139	0,0025
Ωμές χωρίς Ξήρανση	0,000000040		0,143	
Ξήρανση με CO ₂ και Τηγάνισμα	0,000000064	-	0,229	-
Ξήρανση με (79%N ₂ ,21%O ₂) και Τηγάνισμα	0,000000041	-	0,146	-

Πιθανή εξήγηση για την αυξημένη διάμετρο πόρων στην περίπτωση ξήρανσης με χρήση CO₂ είναι χαμηλή διαλυτότητα νερού-CO₂ καθώς και η διαφορά διεπιφανειακής τάσης νερού-αέρα και νερού-CO₂. Από τη θεωρία εμπυρήνωσης και ανάπτυξης (nucleation and growth), είναι γνωστό ότι ο σχηματισμός μια φάσης μέσα σε μια άλλη μπορεί να γίνει με διαφορετικούς τρόπους. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, το νερό αναγκάζεται να σχηματίσει λίγους πυρήνες που αναπτύσσονται σε μεγάλο μέγεθος έτσι ώστε να μεταβούν την αέρια φάση του CO₂ με αποτέλεσμα οι σχηματιζόμενοι πόροι να είναι αυξημένου μεγέθους.

5.4 Επίδραση ξήρανσης στην απορρόφηση ελαίου

Το τηγάνισμα είναι μια σύνθετη επεξεργασία με ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας, που οδηγεί στην απομάκρυνση νερού από τα τρόφιμα και απορρόφηση ελαίου στην επιφάνεια της πατάτας. Ένας βασικός παράγοντας για την ποιότητα της τηγανητής πατάτας είναι η ποσότητα του ελαίου που απορροφάται, η οποία γίνονται προσπάθειες να ελαχιστοποιηθεί (Bouchon, 2009).

Ο ρυθμός εξάτμισης είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του ελαίου και του σημείου βρασμού του νερού. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί ότι όσο νερό αφαιρείται από την επιφάνεια, τόσο λάδι απορροφάται (Ziaifar et al., 2008).

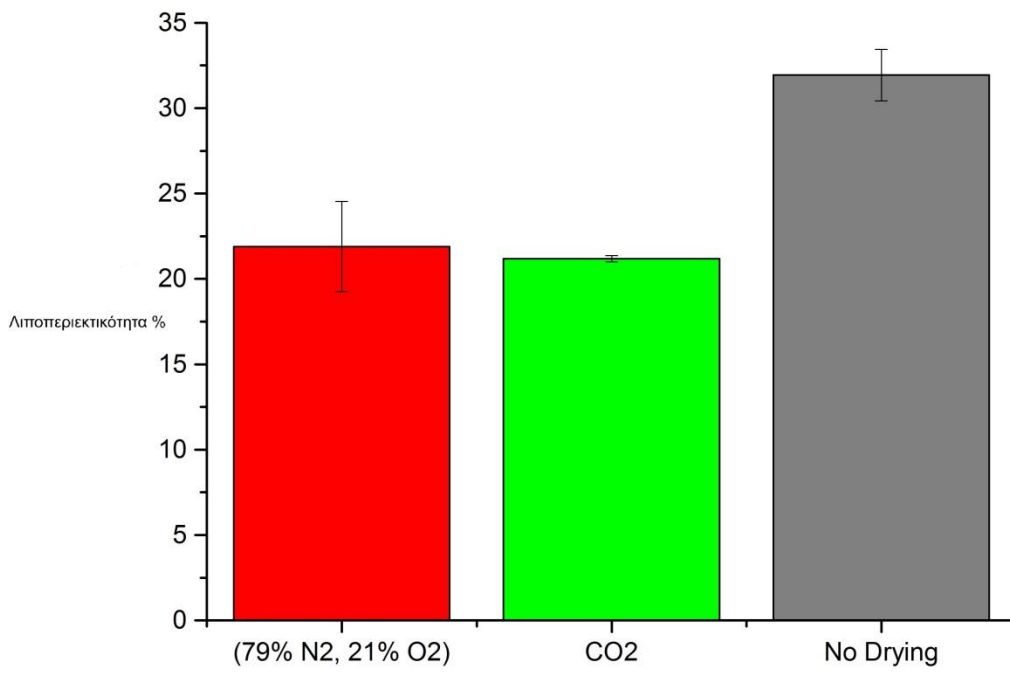
Σύμφωνα με τους Gamble et. al., 1987 η ποσότητα του λαδιού που απορροφάται είναι ανάλογη με της υγρασίας που χάνεται και με το τρόπο που χάνεται.

Στα Σχήματα 20 και 21 παρατηρείται η λιποπεριεκτικότητα δειγμάτων τηγανιτής πατάτας που έχουν υποστεί ξήρανση με διαφορετικά αέρια ή και καθόλου ξήρανση. Η λιποπεριεκτικότητα αυτή είναι εκφρασμένη ως προς ξηρή βάση, και ως προς άλιπη ξηρή μάζα. Μεγαλύτερη λιποπεριεκτικότητα εμφανίζει η τηγανιτή πατάτα που δεν έχει υποστεί ξήρανση πριν το τηγάνισμα. Ακολουθούν τα δύο δείγματα που έχουν υποστεί ξήρανση με διαφορετικά αέρια. Η αλληλοεπικάλυψη των γραμμών σφάλματος των αποτελεσμάτων επί υγρής βάσης (Σχήμα 21) οφείλονται στη διακύμανση της υγρασίας μεταξύ των δειγμάτων.

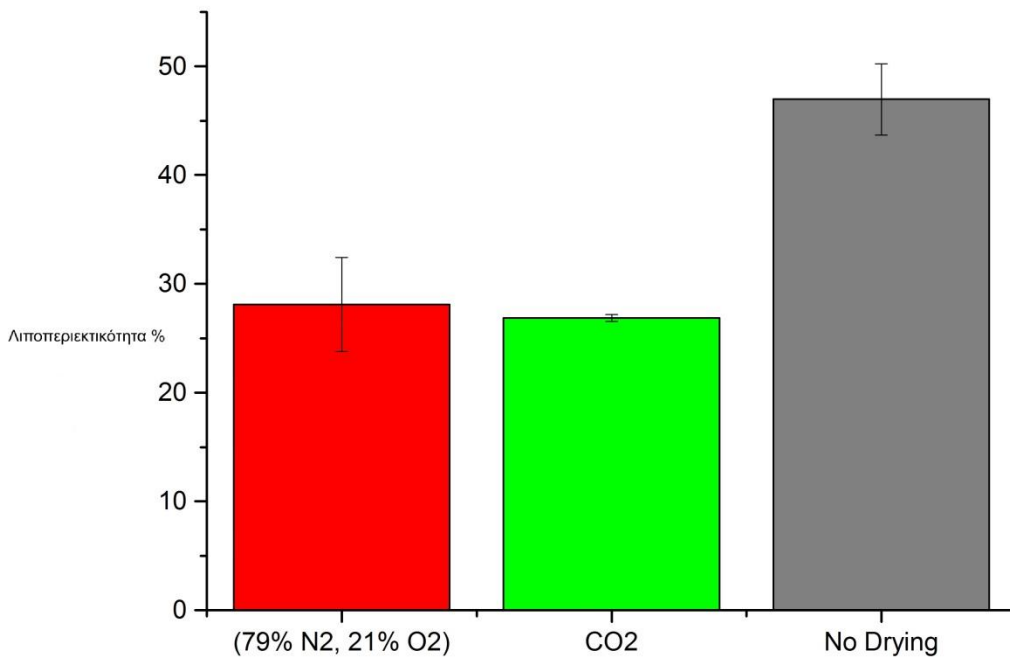
Ξήρανση της πατάτας πριν από το τηγάνισμα, χρησιμοποιώντας είτε φούρνο μικροκυμάτων, κατεργασία θερμού αέρα ή ψήσιμο έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε έλαιο. Η ξήρανση αυξάνει δραματικά την τραγανότητα και μειώνει σημαντικά την απορρόφηση ελαίου (Pedreschi and Moyano, 2005).

Σύμφωνα με τους Krokida et al., (2001) η ξήρανση πριν το τηγάνισμα επηρεάζει σημαντικά πολλές παραμέτρους ποιότητας των τηγανιτών πατατών. Οι ρυθμοί και των δύο φαινομένων μεταφοράς μάζας (απομάκρυνση υγρασίας και απορρόφηση ελαίου) που λαμβάνουν χώρα κατά το τηγάνισμα των πατατών μειώνονται λόγω της ξήρανσης πριν το τηγάνισμα. Οι δομικές ιδιότητες επηρεάζονται επίσης από τη ξήρανση, αυξάνοντας τις πυκνότητες και τον ειδικό όγκο. Εν κατακλείδι η ξήρανση πριν το τηγάνισμα μειώνει την απορρόφηση ελαίου, ενώ η ποιότητα των τηγανιτών πατατών μπορεί να διατηρηθεί επιλέγοντας τον κατάλληλο χρόνο ξήρανσης.

(A)

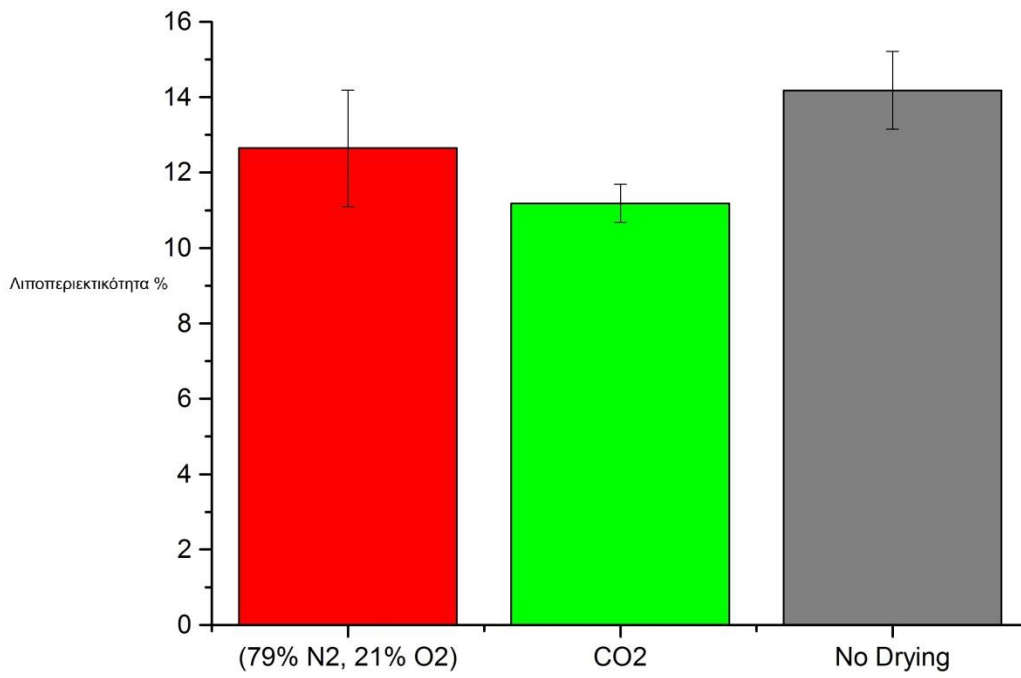


(B)

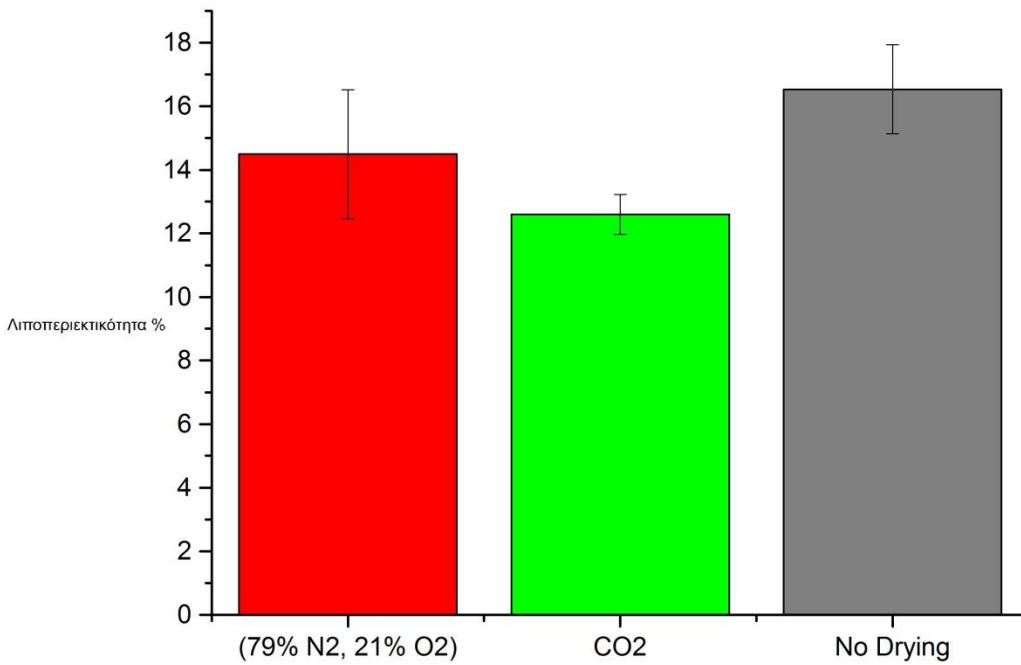


Σχήμα 20: (A) Λιποπεριεκτικότητα επί Ξηρής Βάσης, (B) Λιποπεριεκτικότητα επί Ξηρής Άλιπης Βάσης δειγμάτων τηγανιτής πατάτας με διαφορετικούς τρόπους ξήρανση

(A)



(B)



Σχήμα 21: (A) Λιποπεριεκτικότητα επί Υγρής Βάσης, (B) Λιποπεριεκτικότητα επί Υγρής Άλιπης Βάσης δειγμάτων τηγανιτής πατάτας με διαφορετικούς τρόπους ξήρανσης

6. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν δείγματα τηγανιτής πατάτας τα οποία πριν το τηγάνισμα είχαν ξηρανθεί με διαφορετικούς τρόπους. Ξηράνθηκαν είτε με μίγμα συνθετικού αέρα (79% N₂, 21% O₂) είτε με CO₂. Τα δείγματα αυτά συγκρίθηκαν με δείγμα μάρτυρα το οποίο δεν είχε ξηρανθεί καθόλου. Η ξήρανση έγινε στις ίδιες συνθήκες, όπως και το τηγάνισμα, είχε παρόμοιο θερμοκρασιακό προφίλ. Η μελέτη με FTIR έδειξε διαφορές μεταξύ των δειγμάτων που έχουν ξηρανθεί με διαφορετικές μεθόδους. Η απορρόφηση στην περιοχή 2850-3000 cm⁻¹ που αντανακλά την δόνηση στρέψης C-H που παρουσιάζεται στα λίπη και έλαια και γενικά άπολα μόρια αν και απουσιάζει στην περίπτωση της ξήρανσης με αέρα, είναι παρούσα κατά την ξήρανση με CO₂. Οι γωνίες επαφής του λαδιού στην επιφάνεια ωμής και ξηρής πατάτας ήταν διαφορετικές με την ωμή πατάτα να παρουσιάζει γωνία επαφής (τιμή ισορροπίας) γύρω στις 45°, την πατάτα που υπέστη ξήρανση με CO₂ γύρω στις 36° και αυτή που υπέστη ξήρανση με συνθετικό αέρα γύρω στις 20°. Παρόλα αυτά η γωνία επαφής των πρώτων δευτερολέπτων της επαφής, δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές. Επίσης το μέγεθος των πόρων της τηγανιτής πατάτας μετά από ξήρανση με CO₂ και λυοφιλίωση, ήταν μεγαλύτερο από αυτό μετά από ξήρανση με συνθετικό αέρα, ή της ωμής πατάτας υπό τις ίδιες λοιπές συνθήκες. Μετά το τέλος του τηγανίσματος τα δείγματα παρουσίασαν διαφορετική λιποπεριεκτικότητα. Όπως ήταν αναμενόμενο τα δείγματα που δεν έχουν υποστεί ξήρανση έχουν την πιο έντονη απορρόφηση λαδιού. Ενώ παρόμοια απορρόφηση έχουν τα δείγματα που ξηράνθηκαν. Οι μεταβολές στις ιδιότητες της επιφάνειας και του μεγέθους των πόρων δεν φάνηκε να συσχετίζονται με το ποσοστό λιποπεριεκτικότητας των τηγανιτών πατατών.

7. Βιβλιογραφία

- Aguilera, J.M., (2005). Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*, **67**, 3–11.
- Bognar, A., (1998). Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. *Grasas y Aceites*, **49**, 250–260.
- Bouchon, P., (2009). Chapter 5 Understanding Oil Absorption During Deep-Fat Frying, in: *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier, pp. 209–234.
- Bouchon, P., Pyle, D.L., (2005). Modelling Oil Absorption During Post-Frying Cooling. *Food and Bioproducts Processing*, **83**, 253–260.
- Bradshaw, J.E., Bonierbale, M., (2010). Potatoes, in: Bradshaw, J.E. (Ed.), *Root and Tuber Crops*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–52.
- Brown, Z.K., Fryer, P.J., Norton, I.T., Bakalis, S., Bridson, R.H., (2008). Drying of foods using supercritical carbon dioxide — Investigations with carrot. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **9**, 280–289.
- Dana, D., 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.
- Dueik, V., 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.
- Erickson, M.D., (2007). *Deep frying chemistry, nutrition, and practical applications*. AOCS Press, Urbana, Ill.
- FAN, J., SINGH, R., PINTHUS, E.J., (1997). PHYSICOCHEMICAL CHANGES IN STARCH DURING DEEP-FAT FRYING OF A MOLDED CORN STARCH PATTY. *Journal of food processing and preservation*, **21**, 443–460.
- Farinu, A., Baik, O.-D., (2005). Deep Fat Frying Of Foods—Transport Phenomena. *Food Reviews International*, **21**, 389–410.
- Fragiadaki, E., Harhalakis, S., Kalogianni, E.P., (2012). Characterization of porous media by dynamic wicking combined with image analysis. *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*
- Gamble, M.H., Rice, P., (1987). Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *International Journal of Food Science & Technology*, **22**, 535–548.
- Goi I., Bravo L., Larrad J. A., and Saura Calixto F. (1997). Resistant starch in potatoes deep-fried in olive oil. *Food Chemistry*, **59**, 269-272.
- Hua, T.-C., Liu, B.-L., Zhang, H., (2010). *Freeze-drying of pharmaceutical and food products*. Oxford : CRC Press , Boca Raton, Fla. Woodhead Publishing.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B. and Marinou-Kouris D. (2001). Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of food engineering*, **49**, 347-354.

- Kalogianni E.P. (2007). Physico-Chemical and Chemical Changes During Repeated Deep-Frying of Potatoes. *PhD thesis*, University of Lincoln, 9-42.
- Kalogianni, E.P., Papastergiadis, E., (2014). Crust pore characteristics and their development during frying of French-fries. *Journal of Food Engineering*, **120**, 175–182.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D., (2001). DEEP FAT FRYING OF POTATO STRIPS—QUALITY ISSUES. *Drying Technology*, **19**, 879–935.
- 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.
- Lisinska, G., Golubowska, G., (2005). Structural changes of potato tissue during French fries production. *Food Chemistry*, **93**, 681–687.
- Liu, Q., Charlet, G., Yelle, S., Arul, J., (2002). Phase transition in potato starch–water system I. Starch gelatinization at high moisture level. *Food Research International*, **35**, 397–407.
- Maskan, M., (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, **44**, 71–78.
- Mellema, M., 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, **14**, 364–373.
- Miranda, M.L., Aguilera, J.M., (2006). Structure and Texture Properties of Fried Potato Products. *Food Reviews International*, **22**, 173–201.
- 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.
- Moreno, M.C., Bouchon, P., (2008). A Different Perspective to Study the Effect of Freeze, Air, and Osmotic Drying on Oil Absorption during Potato Frying. *Journal of Food Science*, **73**, E122–E128.
- Paul, S., Mittal, G.S., 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.
- Pedreschi, F., Moyano, P., (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology*, **38**, 599–604.
- Pomeranz, Y., Meloan, C.E., (1995). Food Analysis. Springer US, Boston, MA.
- Reimerdes, E.H., Franke, K., (2006). Engineering and biotechnological aspects for the manufacturing of high quality fried potato products. *Biotechnology Journal*, **1**, 413–419.
- Rossi, M., Alamprese, C., Ratti, S., Riva, M., (2009). Suitability of contact angle measurement as an index of overall oil degradation and oil uptake during frying. *Food Chemistry*, **112**, 448–453.
- Shahidi, F., (2005). Bailey's industrial oil and fat products. volume 3. Wiley-Interscience, Hoboken.

- Sivakesava, S., Irudayaraj, J., (2000). Analysis of potato chips using FTIR photoacoustic spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**, 1805–1810.
- Stier, R.F., (2004). Frying as a science - An introduction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **106**, 715–721.
- Troncoso, E., Pedreschi, F., (2007). Modeling of textural changes during drying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, **82**, 577–584.
- USDA. (2014). United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26.
- Van de Voort, F.R., 1992. Fourier transform infrared spectroscopy applied to food analysis. *Food Research International*, **25**, 397–403.
- 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., 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 & Technology*, **43**, 1410–1423.

8. Παράρτημα

Πίνακας Π1: Προσδιορισμός βάρους τηγανισμένων πατατών ξηραμένων με διαφορετικούς τρόπους

Είδος Επεξεργασίας	Αρχικό Βάρος (g)	Μ. Ο. Αρχικό Βάρος (g)	Τυπική Απόκλιση	Βάρος μετά τη Ξήρανση (g)	Μ.Ο. Βάρος μετά τη Ξήρανση (g)	Τυπική Απόκλιση	Βάρος μετά το Τηγάνισμα (g)	Μ.Ο. Βάρος μετά το Τηγάνισμα (g)	Τυπική Απόκλιση	Βάρος μετά το Φούρνο (g)	Μ. Ο. Βάρος μετά το Φούρνο (g)	Τυπική Απόκλιση	Βάρος Λαδιού (g)	Μ. Ο. Βάρος Λαδιού (g)	Τυπική Απόκλιση
Ξήρανση με μίγμα αέρα (79% N ₂ , 21% O ₂)	10,416	11,207	1,118	6,148	7,019	1,233	3,929	4,080	0,214	2,272	2,357	0,120	0,540	0,514	0,036
	11,997			7,891			4,232			2,441			0,489		
Ξήρανση με CO ₂	12,133	12,067	0,094	7,358	7,651	0,415	4,487	4,202	0,403	2,310	2,215	0,134	0,486	0,469	0,024
	12,001			7,945			3,917			2,120			0,452		
Χωρίς Ξήρανση	10,276	11,080	1,137	-	-	-	5,491	2,470	0,106	2,392	2,470	0,110	0,739	0,790	0,072
	11,884			-			5,641			2,548			0,841		

Πίνακας Π2: Προσδιορισμός υγρασίας τηγανισμένων πατατών ξηραμένων με διαφορετικούς τρόπους

Είδος Επεξεργασίας	Αρχική Υγρασία %	Μ.Ο. Αρχική Υγρασία %	Τυπική Απόκλιση	Υγρασία μετά τη Ξήρανση %	Μ.Ο. Υγρασία μετά τη Ξήρανση %	Τυπική Απόκλιση	Υγρασία μετά το Τηγάνισμα %	Μ.Ο. Υγρασία μετά το Τηγάνισμα %	Τυπική Απόκλιση
Ξήρανση με μίγμα αέρα (79% N ₂ , 21% O ₂)	84,8	84,8	-	54,26	58,56	6,08	42,17	42,24	0,104
	84,8			62,87			42,31		
Ξήρανση με CO ₂	84,8	84,8	-	62,00	64,81	3,97	48,53	47,19	1,887
	84,8			67,62			45,86		
Χωρίς Ξήρανση	84,8	84,8	-	-	-	-	56,43	55,63	1,125
	84,8			-			54,84		

Πίνακας Π3: Προσδιορισμός επιφάνειας τηγανισμένων πατατών ξηραμένων με διαφορετικούς τρόπους

Είδος Επεξεργασίας	Επιφάνεια σύμφωνα με το αρχικό βάρος (g)	Μ.Ο. Επιφάνεια σύμφωνα με το αρχικό βάρος (g)	Τυπική Απόκλιση
Ξήρανση με μίγμα αέρα (79% N ₂ , 21% O ₂)	45,14	48,56	4,85
	51,99		
Ξήρανση με CO ₂	52,58	52,29	0,41
	52,00		
Χωρίς Ξήρανση	44,53	48,01	4,93
	51,50		

Πίνακας Π4: Προσδιορισμός απώλειας υγρασίας τηγανισμένων πατατών ξηραμένων με διαφορετικούς τρόπους

Είδος Επεξεργασίας	Απώλεια Υγρασίας μετά τη Ξήρανση %	Μ.Ο. Απώλεια Υγρασίας μετά τη Ξήρανση %	Τυπική Απόκλιση	Απώλεια Υγρασίας μετά το Τηγάνισμα %	Μ.Ο. Απώλεια Υγρασίας μετά το Τηγάνισμα %	Τυπική Απόκλιση	Απώλεια υγρασίας (μετά τη ξήρανση) ανά μονάδα Αρχικής Επιφάνειας %	Μ.Ο. Απώλεια υγρασίας (μετά τη ξήρανση) ανά μονάδα Αρχικής Επιφάνειας %	Τυπική Απόκλιση	Απώλεια υγρασίας (μετά το τηγάνισμα) ανά μονάδα Αρχικής Επιφάνειας %	Μ.Ο. Απώλεια υγρασίας (μετά το τηγάνισμα) ανά μονάδα Αρχικής Επιφάνειας %	Τυπική Απόκλιση
Ξήρανση με μίγμα αέρα (79% N ₂ , 21% O ₂)	40,98	37,6	4,77	27,32	33,75	9,09	23,60	20,36	4,59	15,74	17,91	3,081
	34,23			40,18			17,12			20,09		
Ξήρανση με CO ₂	39,36	36,58	3,94	32,41	38,71	8,91	19,46	18,18	1,82	16,03	19,27	4,582
	33,79			45,01			16,90			22,51		
Χωρίς Ξήρανση	-	-	-	39,38	42,42	4,3	-	-	-	22,99	22,97	0,031
	-			45,46			-			22,95		

Πίνακας Π5: Προσδιορισμός λιποπεριεκτικότητας τηγανισμένων πατατών ξηραμένων με διαφορετικούς τρόπους

Είδος Επεξεργασίας	Λίπος επί υγρής βάσης %	Μ.Ο. Λίπος επί υγρής βάσης %	Τυπική ή Απόκλιση	Λίπος επί ξηρής βάσης %	Μ.Ο. Λίπος επί ξηρής βάσης %	Τυπική ή Απόκλιση	Λίπος επί υγρής άλιπης μάζας %	Μ.Ο. Λίπος επί υγρής άλιπης μάζας %	Τυπική ή Απόκλιση	Λίπος επί ξηρής άλιπης μάζας %	Μ.Ο. Λίπος επί ξηρής άλιπης μάζας %	Τυπική ή Απόκλιση
Ξήρανση με μίγμα αέρα (79% N ₂ , 21% O ₂)	13,74	12,65	1,54	23,76	21,90	2,64	15,93	14,5	2,03	31,16	28,11	4,32
	11,56			20,03			13,07			25,05		
Ξήρανση με CO ₂	10,83	11,19	0,5	21,05	21,18	0,19	12,15	12,6	0,63	26,66	26,87	0,31
	11,54			21,32			13,05			27,09		
Χωρίς Ξήρανση	13,45	14,18	1,03	30,87	31,94	1,51	15,54	16,53	1,4	44,66	46,97	3,27
	14,91			33,01			17,52			49,28		

Πίνακας Π6: Προσδιορισμός θερμοκρασίας τηγανίσματος

Χρόνος (s)	Θερμοκρασία 1 ^ο Τηγανίσματος (°C)	Θερμοκρασία 2 ^ο Τηγανίσματος (°C)	Μ.Ο. Θερμοκρασίας Τηγανίσματος (°C)
20	132,6	167,0	149,80
40	129,6	146,0	137,80
60	127,3	137,8	132,55
80	125,5	134,0	129,75
100	125,2	131,7	128,45
120	125,4	130,5	127,95
140	127,0	130,6	128,80
160	128,4	131,4	129,90
180	130,4	134,2	132,30
200	132,9	133,9	133,40
220	135,9	135,7	135,80
240	138,0	137,8	137,90
260	141,4	139,4	140,40
280	142,6	139,4	141,00
300	142,0	139,6	140,80
320	142,9	140,1	141,50
340	143,1	140,7	141,90
360	141,4	141,8	141,60
380	142,9	142,7	142,80
400	144,3	143,0	143,65
420	145,2	143,1	144,15
440	148,9	142,9	145,90
460	148,2	143,0	145,60
480	148,8	143,7	146,25
500	147,5	144,9	146,20
520	147,9	145,6	146,75
540	149,5	146,0	147,75
560	150,6	146,2	148,40
580	149,8	146,3	148,05

600	149,8	146,2	148,00
-----	-------	-------	--------

Πίνακας Π7: Προσδιορισμός γωνίας επαφής

Χρόνος (s)	CA (Degrees)/ Airbrown	CA (Degrees)/ Airyellow	CA (Degrees)/ CO2Red	CA (Degrees)/ CO2yellow2	CA (Degrees)/ rawred
0	33,659	46,527	41,907	39,781	43,987
4,984	21,205	28,832	42,132	39,192	36,718
9,984	20,019	27,469	41,967	37,4	37,469
14,984	19,536	24,92	42,227	37,417	37,641
20	18,67	24,261	42,073	37,004	37,107
25	18,191	24,135	41,944	37,093	37,023
30,031	17,962	24,604	42,217	36,398	36,714
35,031	17,757	23,225	42,091	35,146	36,803
40,031	17,306	20,027	42,236	34,897	36,677
45,031	17,311	19,287	42,22	34,753	36,836
50,031	17,19	19,581	42,15	34,296	37,38

55,031	17,387	19,348	42,188	34,314	37,237
60,031	16,991	19,399	42,159	33,677	37,084
65,031	17,412	19,43	42,05	32,699	37,067
70,031	16,856	19,512	42,277	32,516	36,999

Πίνακας Π8: Προσδιορισμός μεγέθους πόρων

Είδος Επεξεργασίας	Κλίση (mm ² /s)	Κλίση (m ² /s)	$r = \{(h^2/t) * (2 * 0,0559 / 0,0313 * 1)\}$	r (μm)
Μόνο Ξήρανση (CO2)	0,065	0,000000065	2,32173E-07	0,232
Μόνο Ξήρανση (CO2)	0,062	0,000000062	2,21457E-07	0,221
Μόνο Ξήρανση (79%N2,21%O2)	0,039	0,000000039	1,39304E-07	0,139
Μόνο Ξήρανση (79%N2,21%O2)	0,023	0,000000023	8,21534E-08	0,082
Ξήρανση και Τηγάνισμα (79%N2,21%O2)	0,064	0,000000064	2,28601E-07	0,229
Ξήρανση και Τηγάνισμα (79%N2,21%O2)	0,041	0,000000041	1,46447E-07	0,146
Ωμό χωρίς Ξήρανση	0,039	0,000000039	1,39304E-07	0,139
Ωμό χωρίς Ξήρανση	0,04	0,00000004	1,42875E-07	0,143