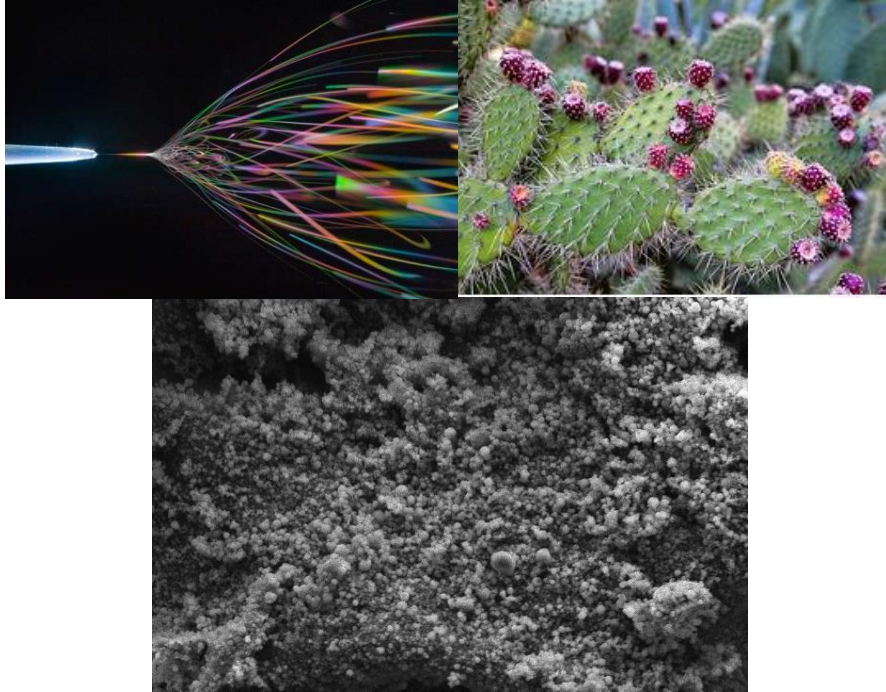




ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και
Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων



**Νανοσωματίδια με την τεχνολογία
ηλεκτρονηματοποίησης ως φορείς για την
ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου**

Ηλίας Μαργιωτούδης

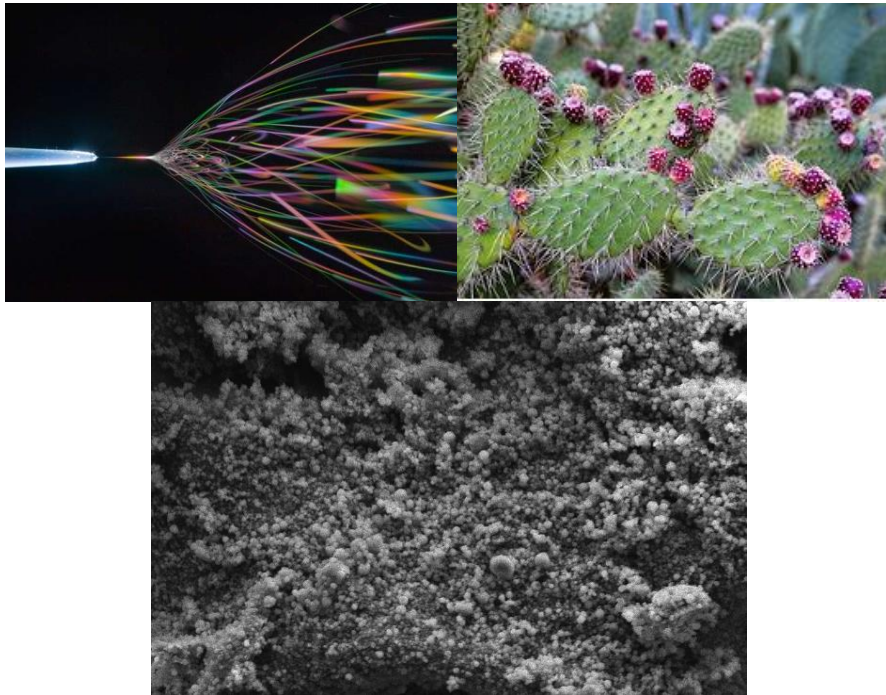
Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Αθήνα, 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και
Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων



**Νανοσωματίδια με την τεχνολογία
ηλεκτρονηματοποίησης ως φορείς για την
ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου**

Ηλίας Μαργιωτούδης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

Αθήνα, 2018



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και
Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

**Νανοσωματίδια με την τεχνολογία
ηλεκτρονηματοποίησης ως φορείς για την
ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου**

Ηλίας Μαργιωτούδης

Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπουσα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ι. Μαντάλα

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Καθηγητής Ν. Στοφόρος

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Β. Ευαγγελίου

Εργαστήριο Χημείας και Ανάλυσης Τροφίμων

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής μελέτης έγινε στο εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη της κυρίας Ιωάννας Μαντάλα.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Ιωάννα Μαντάλα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε ώστε να εκπονηθεί η έρευνα αυτή και για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση που μου έδωσε.

Ευχαριστώ επίσης ιδιαίτερα το επιστημονικό προσωπικό του εργαστηρίου κύριο Μανώλη Αναγνωσταρά, ο οποίος με τις γνώσεις του και την επιμονή του με βοήθησε πάρα πολύ στη διεκπεραίωση της μελέτης και στην επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για την άψογη συνεργασία μας καθώς και την κυρία Βασιλική Ευαγγελίου και τον κύριο Νικόλαο Στοφόρο για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος θέλω να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ τους γονείς μου και τον αδερφό μου, όπου με την υποστήριξη, την κατανόηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, κατάφερα να πραγματοποιήσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές αλλά και τα όνειρά μου. Επίσης οφείλω ένα ευχαριστώ στους φίλους μου για τη συμπαράσταση και την αγάπη που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Ηλίας Δ. Μαργιωτούδης, Ιούνιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υψηλή διατροφική αξία του φραγκόσυκου (*Opuntia ficus-indica*) τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στον καρπό ενώ υπάρχουν ενδείξεις για πλήρη εκμετάλλευση του φυτού. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση της δημιουργίας νανοσωματιδίων μέσω της μεθόδου ηλεκτρονηματοποίησης για την αποτελεσματική ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και στη συνέχεια να χρησιμοποιούνται για πιθανή ενσωμάτωση σε άλλα τρόφιμα, όπως δημητριακά. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων αξιοποίησης του φυτού αυτού, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα διαφορετικών συνθηκών, και μάλιστα σε ξηρές περιοχές, όπως είναι το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Αρχικά, παρασκευάστηκαν 8 διαλύματα Fibersol-2/χυμού με διαφορετικές συγκεντρώσεις και ποσοστό αραίωσης με σκοπό να επιλεγεί ο καλύτερος συνδυασμός για την διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού. Στα άλευρα που προέκυψαν από κάθε διάλυμα μετά τον ηλεκτροψεκασμό τους, προσδιορίστηκαν η σύσταση, το χρώμα, η υγρασία, η ενεργότητα νερού και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

Από τα οχτώ διαλύματα που δοκιμάστηκαν μόλις στα τέσσερα από αυτά η διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού πραγματοποιήθηκε με επιτυχία και παράχθηκε ένα ασφαλές μικροβιακά προϊόν υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες που έχει διατηρήσει το χρώμα του. Η ξήρανση του καρπού έγινε με την προσθήκη Fibersol-2 σε συγκεντρώσεις από 25% έως 45%. Τα προϊόντα ηλεκτροψεκασμού του καρπού παρουσιάζουν καλή σωματιδιακή σφαιρική δομή σε κλίμακα νανομέτρων με αρκετά χαμηλή υγρασία και ενεργότητα νερού καθώς και διατήρηση της χρωστικής τους.

Λέξεις κλειδιά: Fibersol-2, φραγκόσυκα, Ενθυλάκωση, Ηλεκτρονηματοποίηση

Title: Nanoparticles with electrospinning technology as carriers for encapsulating prickly pear juice pigments.

Abstract

In recent years the high nutritional value of *Opuntia ficus-indica* has attracted research interest. Most studies concentrate on the fruit while there are indications of exploitation of the whole plant too. The aim of this post-graduate study was to investigate the creation of nanoparticles via the electrospinning method to effectively encapsulate prickly pear juice pigments so as to produce dehydrated products with acceptable characteristics to be maintained for a longer time and then used for possible incorporation in other foods such as cereals.

Initially, 8 solutions of Fibersol-2 / juice were prepared with different concentrations and dilution rate in order to select the best combination for the electrospay process. The composition, color, moisture, water activity and other physical characteristics were determined in the flours obtained from each solution after electrospay.

Of the eight solutions tested in just four of these, the electrospay process was successfully performed and a safe, high-fiber-retaining color fiber microbial product was produced. The fruit was dried by adding Fibersol-2 at concentrations of 25% to 45%. Electrospay products of the fruit exhibit a good particle spherical structure in nanometer scale with relatively low moisture and water activity as well as preservation of their dye.

Key Words: Fibersol-2, prickly pear, Encapsulation, Electrospaying

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1. Ενθυλάκωση βιοενεργών συστατικών	9
1.2. Ηλεκτρονηματοποίηση – electrospinning	10
1.2.1. Αρχές λειτουργίας.....	12
1.2.2. Εφαρμογή της τεχνολογίας ηλεκτρονηματοποίησης στην τεχνολογία τροφίμων.....	15
1.3. Το φραγκόσυκο.....	17
1.3.1. Γενικό πλαίσιο.....	17
1.3.2. Διατροφική Αξία.....	19
1.3.3. Κατανομή και κατανάλωση σε ορισμένες χώρες	20
1.3.4. Φρούτα και βλαστός: Λειτουργικές Ιδιότητες.....	22
1.3.5. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία	23
1.3.6. Πιθανές χρήσεις.....	24
1.3.7. Χρήση των βλαστών σε προϊόντα τροφίμων	26
1.3.8. Φραγκοσυκιά Στην Ελλάδα.....	26
1.4. Φορέας Ενθυλάκωσης (Fibersol-2).....	27
1.4.1. Λειτουργία- Δράση στον ανθρώπινο οργανισμό.....	29
2. ΣΚΟΠΟΣ	29
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	30
3.1. Χειρισμός καρπών.....	30
3.2. Παρασκευή σκόνης με ηλεκτρονηματοποίηση	31
3.3. Μέτρηση Ηλεκτρικής αγωγιμότητας	34
3.4. Ρεολογικές Μετρήσεις.....	34
3.5. Προσδιορισμός Υγρασίας	35
3.6. Προσδιορισμός Ενεργότητας Νερού (a_w)	36
3.7. Μέτρηση pH – Προσδιορισμός διαλυτών στερεών συστατικών ($^{\circ}$ Brix).....	36
3.8. Προσδιορισμός χρώματος	36
3.9. Προσδιορισμός Σακχάρων	37
3.10. Προσδιορισμός θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης (T_g).....	37
3.11. Μικροδομή και μέγεθος σωματιδίων	39
3.12. Στατιστική Επεξεργασία.....	39

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
4.1. Προσδιορισμός Φυσικοχημικών ιδιοτήτων καρπού	40
4.2. Ιδιότητες διαλυμάτων.....	41
4.2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	41
4.2.2. Ρεολογικές ιδιότητες διαλυμάτων.....	42
4.2.3. Ιξώδες διαλύματος.....	43
4.3. Διαδικασία ηλεκτροψεκασμού.....	45
4.4. Ιδιότητες παραγόμενων σωματιδίων	47
4.4.1. Μικροδομή σωματιδίων	47
4.5. Προσδιορισμός Φυσικών ιδιοτήτων αλεύρου από καρπό.....	52
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	55
6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	58
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	59

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ενθυλάκωση βιοενεργών συστατικών

Η μικροενθυλάκωση ή η νανοενθυλάκωση ορίζεται σαν μια τεχνολογία προστασίας των στερεών των υγρών ή των αέριων υλικών σε μικρές κάψουλες οι οποίες μπορούν να απελευθερώσουν τα συστατικά τους σε ελεγχόμενο ρυθμό κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτές οι κάψουλες προστατεύουν το ενθυλακωμένο προϊόν από το φως και το οξυγόνο και συνεπώς προλαμβάνουν την αποδόμηση του (Ferreira, Rocha, Coelho, 2008).

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που δημιουργούνται κατά την ανάπτυξη ενός λειτουργικού τροφίμου είναι η διατήρηση της δράσης και η βιοδιαθεσιμότητα των βιοενεργών συστατικών του καθ'όλη τη διάρκεια των κατεργασιών που αφορούν την παραγωγή, την αποθήκευση αλλά και την μεταφορά του τροφίμου στο γαστρικό μας σύστημα (Gomez and Mascaraque, 2015). Η σταθερότητα των χρωστικών του χυμού φραγκόσκου επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες όπως pH, ενεργότητα νερού, έκθεση σε οξυγόνο, φως, θερμοκρασία και ένζυμα αποικοδόμησης (Herbach, Stintzing, & Carle, 2006). Η ανάπτυξη εδωδιμων μητρών ενθυλάκωσης τέτοιων συστατικών σε κλίμακα νανομέτρων ή μικρομέτρων, θεωρείται αποτελεσματικός τρόπος ώστε να προστατευθούν αυτές οι χρωστικές από τις δυσμενείς συνθήκες (Dube, Ng, Nicolazzo, & Larson, 2010) και να εξασφαλιστεί η βιοδιαθεσιμότητα τους όταν χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα (χρώση τροφίμων). Η ενθυλάκωση μπορεί να γίνει με διάφορα βιοπολυμερή, όπως υδροπηκτώματα πρωτεϊνών ή πολυσακχαρίτες.

Μία από τις βασικές προκλήσεις στην ανάπτυξη των λειτουργικών τροφίμων είναι η διατήρηση της δράσης αλλά και η βιοδιαθεσιμότητα των βιοενεργών συστατικών κατά τη διάρκεια της παρασκευής του τροφίμου, της αποθήκευσης και της διόδου στο γαστρεντερικό σύστημα. Η ανάπτυξη μητρών νανο-ή μικρο-ενθυλάκωσης θεωρείται μια σωστή επιλογή ώστε να προστατευθούν αυτές οι βιολογικά ενεργές ενώσεις από τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες (Dube, Ng, Nicolazzo, & Larson, 2010). Υπάρχει μεγάλος αριθμός από τεχνικές ενθυλάκωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή συστημάτων νανο- ή μικροσωματιδίων.

Κάποιες από αυτές τις μεθόδους είναι η γαλακτωματοποίηση, η εξάτμιση, οι μέθοδοι εκβολής, η επικάλυψη ρευστοποιημένης κλίνης με ψεκασμό ψυκτικού υγρού, η ξήρανση με

ψεκασμό και η συσσωμάτωση (Coconversation) (Lopez-Rubio, Sanchez, Wilkanowicz, Sanz, & Lagaron, 2012).

Ωστόσο κάποιες από αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνουν την έκθεση των βιοενεργών συστατικών σε υψηλές θερμοκρασίες ή /και στη χρήση οργανικών διαλυτών, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την σταθερότητα των ευαίσθητων θρεπτικών συστατικών και να αποκλείσουν την χρήση τους σε εφαρμογές στα τρόφιμα (Lopez-Rubio, Sanchez, Wilkanowicz, Sanz, & Lagaron, 2012).

1.2. Ηλεκτρονηματοποίηση - electrospinning

Με την εμφάνιση της νανοτεχνολογίας, προκύπτει ολοένα και περισσότερο η τάση μελέτης των μοναδικών ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται σε τόσο μικρές τάξεις μεγεθών (νανοκλίμακα). Η ηλεκτρονηματοποίηση/ηλεκτροσυσσωμάτωση, μια τεχνική κατασκευής ηλεκτροστατικών ινών έχει προσελκύσει περισσότερο ενδιαφέρον και προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω της ευελιξίας και του δυναμικού της για εφαρμογές σε ποικίλα πεδία. Κάποιες από τις αξιοσημείωτες εφαρμογές της περιλαμβάνουν τη μηχανική ιστών, τους βιοαισθητήρες, τη διήθηση, την επούλωση πληγών, τη φαρμακοβιομηχανία, την ακινητοποίηση των ενζύμων, την ενθυλάκωση ουσιών κ.ά. Οι παραγόμενες ίνες (fibers) και τα νανοσωματίδια της τεχνικής αυτής προκύπτουν με την εφαρμογή ισχυρών ηλεκτρικών τάσεων σε διάλυμα επιθυμητού πολυμερούς. Με αυτή την τεχνική επιτυγχάνονται διάφορα πλεονεκτήματα όπως ο λόγος επιφάνειας προς όγκο, ρυθμιζόμενο πορώδες, και η ικανότητα χειρισμού της σύνθεσης των υλικών των νανοσωματιδίων προκειμένου να παρέχονται επιθυμητές ιδιότητες και λειτουργία. Με την πάροδο των ετών, περισσότερα από 200 πολυμερή έχουν χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη μέθοδο για διάφορες εφαρμογές και ο αριθμός τους αυξάνεται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου.

Ο ψεκασμός μέσω ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα ως μια εναλλακτική μέθοδος για την παραγωγή πολυμερικών σωματιδίων ενσωματώνοντας βιοενεργούς παράγοντες, στην βιομηχανία των καλλυντικών, των θεραπευτικών ειδών και των τροφίμων (Bock, Dargaville, & Woodruff, 2012, Jaworek & Sobczyk, 2008). Ο ηλεκτροδυναμικός ψεκασμός και η ηλεκτρονηματοποίηση είναι πολύπλευρες ηλεκτροδυναμικές μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να παράγουν δομές ενθυλάκωσης, χωρίς την επιβολή υψηλών θερμοκρασιών ή την χρήση τοξικών διαλυτών (Chakraborty, Liao, Adler, & Leong, 2009). Οι ηλεκτροδυναμικές

αυτές διαδικασίες που ονομάζονται electrospinning και electrospraying είναι εύκολες, αποδοτικές και ευέλικτες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν ηλεκτρικά φορτισμένους πίδακες πολυμερικών διαλυμάτων για την παραγωγή ινών ή σωματιδίων κλίμακα μικρομέτρων ή νανομέτρων. Οι ηλεκτροματοποιημένες ίνες ή τα ηλεκτροψεκασμένα σωματίδια έχουν πολλά δομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Παρόλα αυτά η χρήση τους στο πεδίο των τροφίμων είναι ακόμα περιορισμένη και δεν έχει μελετηθεί ακόμη αρκετά (Bhushani A & Anandharamakrishnan, 2014).

Κάποιες από τις μελέτες που έχουν γίνει αφορούν την ενθυλάκωση βιοενεργών παραγόντων αλλά και στελεχών βακτηρίων για την παραγωγή λειτουργικών τροφίμων. Για παράδειγμα ο Jose Gregorio Carriazo με την ομάδα του το 2015 ενθυλάκωσε τις βιοενεργές χρωστικές του χυμού φραγκόσκου (O.Ficus-indica) χρησιμοποιώντας ως φορείς ενθυλάκωσης μαλτοδεξτρίνη και κονιορτοποιημένα φύλλα του φραγκόσκου ώστε να παραχθούν μικροκάψουλες που θα χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα τροφίμων.

Πλεονεκτήματα προϊόντων ηλεκτρονηματοποίησης/ηλεκτροψεκασμού	
Δομικά Πλεονεκτήματα	Λειτουργικά Πλεονεκτήματα
1. Μέγεθος σε κλίμακα μικρομέτρων ή νανομέτρων	1. Παρατεταμένη και ελεγχόμενη απελευθέρωση
2. Πορώδες	2. Μη θερμικά επεξεργασμένα προϊόντα
3. Μεγάλη αναλογία επιφάνειας όγκου	3. Μειωμένη μετουσίωση
4. Προσαρμοσμένη μορφολογία	4. Αποτελεσματική ενθυλάκωση
5. Συνυφασμένη δομή ινών	5. Ενισχυμένη σταθερότητα των βιοενεργών
	6. Πολυμερή/βιοπολυμερή με τροφική ποιότητα

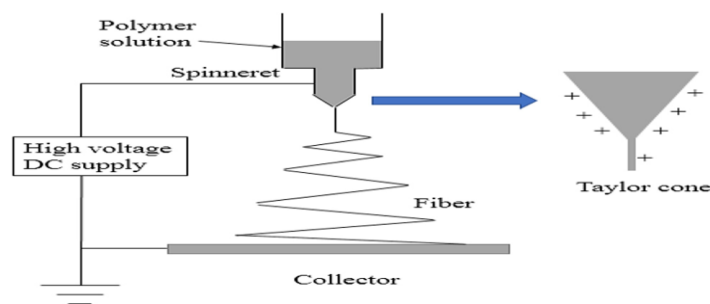
Πίνακας 1.1. Πλεονεκτήματα προϊόντων που έχουν παραχθεί με ηλεκτρονηματοποίηση/ηλεκτροψεκασμό

1.2.1. Αρχές λειτουργίας

Το electrospinning είναι η διαδικασία που χρησιμοποιεί ηλεκτροστατικές δυνάμεις ώστε να μετατρέψει μια αιωρούμενη σταγόνα ενός πολυμερούς σε μια λεπτή ίνα όπου εναποτίθεται σε έναν γειωμένο συλλέκτη (Frenot & Chronakis, 2003). Το πολυμερικό διάλυμα εξωθείται από το άκρο μιας βελόνας με μια συνεχή ροή από μια σύριγγα που λειτουργεί σαν αντλία, σχηματίζοντας μια σταγόνα στο άκρο.

Όταν μία μικρή ποσότητα του διαλύματος του πολυμερούς εκτεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο, η σταγόνα εκτείνεται προς πιο κοντινό σημείο με το χαμηλότερο δυναμικό, μετατρέπεται σε μία δομή που είναι γνωστή ως κώνος Taylor (Reneker, Yarin, Fong, & Koombhongse, 2000; Yarin, Koombhongse, & Reneker, 2001). Όταν το ηλεκτρικό πεδίο φτάσει σε μία κρίσιμη τιμή στην οποία οι ηλεκτρικές δυνάμεις θα ξεπεράσουν την επιφανειακή τάση της σταγόνας από τον κώνο Taylor, εκβάλλεται ένα φορτισμένο υγρό ρεύμα ή ένας πίδακας του πολυμερούς (Doshi Jayesh & Reneker, 1995). Ο πίδακας αργότερα, επιμηκύνεται μερικώς περιγραφόμενος ως εκτεταμένη έλικα, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του από το άκρο της σύριγγας στον συλλέκτη.

Η ηλεκτροστατική δύναμη συμβάλλει, στη δύναμη ώθησης, στη βαρύτητα, στη δύναμη απόκρουσης, στην επιφανειακή τάση και στις ιξωδοελαστικές δυνάμεις που δρουν στον φορτισμένο πίδακα (Ding, Li, Miyauchi, Kuwaki, & Shiratori, 2006). Η αραίωση του πίδακα του πολυμερούς συνεχίζεται όσο ο διαλύτης εξατμίζεται και οι συνεχείς ίνες που δημιουργούνται εναποτίθενται στον γειωμένο συλλέκτη. Όταν το φορτισμένο πήγμα εκβάλλεται μέσω της ηλεκτροστατικής δύναμης από το ακροφύσιο προς τον συλλέκτη, εφαρμόζεται μία δύναμη αντίστασης ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του με τον περιβαλλόμενο αέρα και μειώνει την υψηλή ταχύτητα του πίδακα. Η επέκταση της σταγόνας αποδίδεται στην δύναμη Coulomb ενώ η συναίρεσή της αποδίδεται στην επιφανειακή τάση και στις ιξωδοελαστικές δυνάμεις. Η παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου επηρεάζει την άπωση των ηλεκτροστατικών και των δυνάμεων Coulomb όπου παρατηρούνται στην διαδικασία. Το ηλεκτρικό πεδίο οδηγεί στην παραμόρφωση της φορτισμένης σταγόνας από σφαιρική σε μια ατρακτοειδή δομή και επηρεάζει τη μετάβαση από τον ηλεκτροψεκασμό στην διαδικασία της ηλεκτρονηματοποίησης (Almería, Deng, Fahmy, & Gomez, 2010; Grimm & Beauchamp, 2005).



Εικόνα 1.1. Διάγραμμα απεικόνισης διαδικασίας ηλεκτρονηματοποίησης

Η διαδικασία του electrospaying (ηλεκτροψεκασμός) είναι μια διαδικασία διάσπασης των ατόμων από τις ηλεκτρικές δυνάμεις. Η διαφορά μεταξύ της ηλεκτρονηματοποίησης και του ηλεκτροψεκασμού (ηλεκτροδυναμικός ψεκασμός), όπου μπορούν να θεωρηθούν συγγενείς τεχνολογίες, βασίζεται στον βαθμό της μοριακής συνένωσης στο υλικό, μία ιδιότητα η οποία ελέγχεται από τη διαφορά στη συγκέντρωση του πολυμερικού διαλύματος (Chakraborty, Liao, Adler, & Leong, 2009; Enayati, Chang, Bragman, Edirisinghe, & Stride, 2011). Όταν η συγκέντρωση του πολυμερούς είναι υψηλή, ο πίδακας από τον κώνο Taylor σταθεροποιείται και η επιμήκυνση λαμβάνει χώρα μέσω του μηχανισμού της περιδίνησης του διαλύματος (whipping instability mechanism).

Αν η συγκέντρωση του πολυμερούς είναι χαμηλή τότε ο πίδακας αποσταθεροποιείται και ως εκ τούτου σχηματίζονται σταγόνες. Αυτές οι υψηλά φορτισμένες σταγόνες διασκορπίζονται μόνες τους στο κενό, εμποδίζοντας έτσι τη συσσώρευση και τη δημιουργία θρόμβων (Jaworek, & Sobczyk, 2008). Περαιτέρω εξάτμιση του διαλύτη οδηγεί στην κατασκευή και την στερεοποίηση των σταγόνων αυτών με αποτέλεσμα την συλλογή στερεών πολυμερικών σωματιδίων στον γειωμένο συλλέκτη (Bock, Dargaville, & Woodruff, 2012).

Υπάρχει γενικά πρόοδος στη χρήση του ομοαξονικού electrospinning και electrospaying για την παραγωγή προϊόντων με δύο αναμίξιμα ή μη αναμίξιμα υλικά στον πυρήνα ή στα τοιχώματα. Σε αυτήν τη μέθοδο δύο ομόκεντρα ή ένα διπλό ακροφύσιο προάγουν την παραγωγή ινών (με) ή σωματιδίων με πυρήνα και κέλυφος περιέχοντας το βιοενεργό συστατικό στο εσωτερικό του τριχοειδούς και το υλικό προστασίας στο εξωτερικό του τριχοειδούς (Zheng, Zhang, Zhao, & Han, 2012).

Τα προϊόντα που προέρχονται από τις διαδικασίες του electrospinning ή του electrospaying κατέχουν διάφορα δομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Το μέγεθος του τελικού

προϊόντος μπορεί να ελεγχθεί περαιτέρω μεταβάλλοντας τους παράγοντες που διέπουν το σύστημα, το διάλυμα, το όργανο και τις παραμέτρους του περιβάλλοντος που γίνεται η διαδικασία.

Ο τύπος και η συγκέντρωση του πολυμερούς και του διαλύτη που χρησιμοποιείται, καθορίζουν τις ιδιότητες του διαλύματος, όπως το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την επιφανειακή τάση. Οι παράμετροι του οργάνου, περιλαμβάνουν το ηλεκτρικό δυναμικό που εφαρμόζεται, το ρυθμό ροής του διαλύματος, την απόσταση του ακροφύσιου από τον συλλέκτη και σε κάποιες περιπτώσεις τη φύση του υλικού του συλλέκτη. Επιπροσθέτως οι συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες γίνεται η διαδικασία, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του αέρα, μπορούν να καθορίσουν τον ρυθμό της εξάτμισης του διαλύτη από το προϊόν (Raghavan et al., 2012). Έτσι μπορούν να παραχθούν προϊόντα σε κλίμακα μικρόμετρων ($>1\mu\text{m}$) υπομικρόμετρων ή νανομέτρων (10-1000 nm) (Klaessig, Marrapese, & Abe, 2011).

Για την παρασκευή ινών και σωματιδίων με τη μέθοδο της ηλεκτρονηματοποίησης και του ηλεκτροψεκασμού θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πολυμερή που δεν είναι τοξικά και να είναι εγκεκριμένα συστατικά. Έτσι γίνονται πολλές έρευνες ώστε να αναπτυχθούν συστήματα πολυμερών τα οποία να είναι φυσικά και να μπορούν να αφομοιωθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό χωρίς να προκαλέσουν προβλήματα.

	Ιξώδες
	Συγκέντρωση Πολυμερούς
	Μοριακό Βάρος Πολυμερούς
Ιδιότητες Διαλύματος	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
	Ελαστικότητα
	Επιφανειακή Τάση
	Τάση Ρεύματος
Συνθήκες Διεργασίας	Απόσταση μεταξύ της πλάκας συλλέκτη και της μύτης της βελόνας
	Ρυθμός παροχής διαλύματος στην διαδικασία
	Διάμετρος βελόνας
	Θερμοκρασία
Συνθήκες περιβάλλοντος	Υγρασία
	Ατμοσφαιρική Πίεση

Πίνακας 1.2. Παράμετροι που επηρεάζουν την διαδικασία της ηλεκτρονηματοποίησης

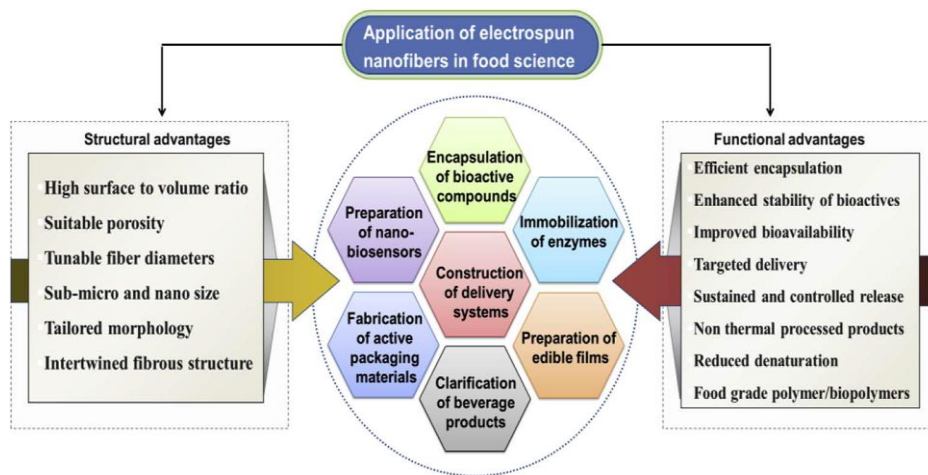
1.2.2. Εφαρμογή της τεχνολογίας ηλεκτρονηματοποίησης στην τεχνολογία τροφίμων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η τεχνολογία της ηλεκτρονηματοποίησης και του ηλεκτροψεκασμού είναι πρακτικές μέθοδοι για την κατασκευή συστημάτων ενθυλάκωσης με ασφάλεια σε τρόφιμα, και συνεπώς υπάρχει μεγάλη δυνατότητα σχεδιασμού και ανάπτυξης βελτιωμένων προϊόντων μεγάλης λειτουργικότητας με τα αντίστοιχα συστήματα διανομής (Chorani and Tucker, 2015).

Οι παραγόμενες ίνες μέσω της ηλεκτρονηματοποίησης παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την βιοδραστική προστασία σε λειτουργικά τρόφιμα (Aceituno Medina et al., 2015) όπως για παράδειγμα σύμπλοκα ενθυλάκωσης μενθόλης, βανίλιας και άλλων αρωματικών ενώσεων (δημιουργία παρασκευασμάτων πιο σταθερών στη θερμοκρασία και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής).

Εκτός από την προστασία των βιοχημικά ευπαθών βιοδραστικών ενώσεων, η διατήρηση της βιωσιμότητας των παρασιτικών βακτηριδίων και βακτηριοσινών κατά τη διάρκεια της

επεξεργασίας και της αποθήκευσης τροφίμων με τη χρήση πρωτεϊνών και υδατανθράκων ως αντιδραστηρίων αποτελεί μια ακόμη θετική εφαρμογή της ηλεκτροεπεξεργασίας (Burgain et al., 2011). Η χρησιμοποίηση πρεβιοτικών ουσιών και ως εκ τούτου την προστασία και ενίσχυση του ποσοστού επιβίωσης των βιοδραστικών ενώσεων και των προβιοτικών βακτηρίων, κατά τη διέλευση του ανώτερου γαστρεντερικού σωλήνα και κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και αποθήκευσης τροφίμων, είναι ένας χώρος μεγάλης σημασίας για την έρευνα και ανάπτυξη ενός προϊόντος υψηλής προστιθέμενης αξίας Lopez- Rubio κ.ά., 2012).



Εικόνα 1.2. Απεικόνιση εφαρμογών τεχνολογίας ηλεκτρονηματοποίησης στην επιστήμη τροφίμων.

1.3. Το φραγκόσυκο

1.3.1. Γενικό πλαίσιο

Το ενδιαφέρον για τη φραγκοσυκιά χρονολογείται πολλές χιλιάδες χρόνια πριν. Η καταγωγή και η ιστορία της σχετίζονται στενά με τους αρχαίους Μεσοαμερικανικούς πολιτισμούς και ιδιαίτερα με την κουλτούρα των Αζτέκων. Αρχαιολογικά στοιχεία επιβεβαιώνουν ότι τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν πρώτα από αυτόχθονες πληθυσμούς που εγκαταστάθηκαν στις ημι-άνυδρες περιοχές της Κεντρικής Αμερικής.

Τα φραγκόσυκα και άλλα είδη κάκτων ήταν μάλλον ανάμεσα στα φυτά και ζώα που εισήχθησαν στην Ισπανία από τον Χριστόφορο Κολόμβο ως δείγματα της εξωτικής χλωρίδας και πανίδας του Νέου Κόσμου. Οι χρονικογράφοι εκείνης της εποχής, συμπεριλαμβανομένου του Fernández de Oviedo y Valdés, ενός από τους πρώτους Ισπανούς συγγραφείς που περιέγραψαν την Αμερική, αναφέρει στη Γενική και Φυσική Ιστορία των Ινδιών το 1535 ότι ο πληθυσμός κατανάλωνε τα φρούτα της φραγκοσυκιάς: «...τα οποία έτρωγαν με μεγάλη ευχαρίστηση καθώς ήταν η καλύτερη λιχουδιά που είχα όλο το χρόνο και δεν θα την αντικαθιστούσαν με τίποτα στον κόσμο...». Οι Νομαδικές φυλές έλκονταν από περιοχές όπου η φραγκοσυκιά εφύετο και η πρόσβαση σε ποσότητες του φρούτου έγινε αιτία για αυτές να αποκτήσουν μόνιμη κατοικία.

Παλιές ιστορίες αναφέρουν τη μεγάλη ποικιλία του γένους *Opuntia* και των χρήσεών του. Επιπλέον περιγράφεται η παρουσία του εντόμου κοχενίλλης ο οποίος τρέφεται με το σαρκώδη βλαστό του φυτού, και χρησιμοποιείται για την παραγωγή αυτού που μέχρι σήμερα αποτελεί μία από τις πιο πολύτιμες φυσικές χρωστικές – του καρμινίου. Το έντομο και η χρωστική ήταν ένα μυστικό κρυμμένο για πολλά χρόνια από τους Ισπανούς οι οποίοι είχαν μεγάλα κέρδη από την εμπορία του.

Στη Γενική Ιστορία της Νέας Ισπανίας, ο Fray Bernardino de Sahagún περιγράφει τις διάφορες χρήσεις της φραγκοσυκιάς. Γράφει: «Υπάρχουν κάποια δένδρα σε αυτή τη χώρα που ονομάζονται *nopalli*, που σημαίνει φραγκόσυκο ή δένδρο που παράγει φραγκόσυκα. Είναι ένα τεράστιο δένδρο του οποίου ο κορμός αποτελείται από φύλλα και τα παρακλάδια τους. Τα φύλλα είναι πλατιά και χονδρά, με άφθονο χυμό, είναι κολλώδη και έχουν αγκάθια. Τα φρούτα των δένδρων είναι ευχάριστα στη γεύση. Είναι ένα πολύτιμο φρούτο. Τα φύλλα αυτού του δένδρου τρώγονται ωμά ή μαγειρεμένα. Ορισμένα δένδρα παράγουν φραγκόσυκα

τα οποία είναι κίτρινα εσωτερικά, ενώ άλλα κόκκινα ή ροζ. Άλλα δένδρα έχουν πράσινα φύλλα με κόκκινα σημάδια και φέρουν φρούτα που είναι μωβ εσωτερικά και εξωτερικά...»

Σε μια εντολή του 1620, ο βασιλιάς Φίλιππος ο Γ' της Ισπανίας αναφέρει ότι: «...ένα από τα πολυτιμότερα φρούτα που καλλιεργούνται στις Δυτικές Ινδίες είναι το φραγκόσυκο, προϊόν ίσης αξίας με το χρυσό και το ασήμι...». Οι φαρμακευτικές ιδιότητες του φυτού αναγνωρίστηκαν εξ αρχής, συμπεριλαμβανομένης της αξίας του ως αντιφλεγμονώδη, διουρητικό και αντισπασμωδικό παράγοντα. Η φραγκοσυκιά αποτελεί εγγενές μέρος της ιστορίας του Μεξικού και της Κεντρικής Αμερικής. Για παράδειγμα, η καταγωγή της αντικατοπτρίζεται στην επίσημη ασπίδα του Μεξικού η οποία παριστάνει έναν αετό σκαρφαλωμένο πάνω σε μία φραγκοσυκιά.

Περαιτέρω στοιχεία για τη γνώση και τη χρήση του φραγκόσυκου από τους Αρχαίους Μεξικάνους έχουν βρεθεί από τις ανασκαφές σε *Tamaulipas* και *Tehuacán* (Μεξικάνικη Πολιτεία της Πουέμπλα), όπου βρέθηκαν απολιθωμένα σπόροι και φλούδες από το φρούτο και ίνες από τα φύλλα, που εκτιμώνται να είναι 7000 ετών.

Σήμερα το φυτό εκτιμάται ιδιαίτερα για την προστασία και ανάπτυξη ξηρών και ημίξηρων περιοχών ανά τον κόσμο. Σχεδόν κυριολεκτώντας, το φυτό αποτελεί τη βάση για τη ζωή ανθρώπων που ζουν σε αυτές τις περιθωριακές περιοχές (FAO, 2013).

1.3.2. Διατροφική Αξία

Το φραγκόσυκο είναι ένα τροπικό φρούτο που συλλέγεται από διάφορα είδη του γένους *Opuntia* οικογ. *Cactaceae* και ευδοκίμει σε περιοχές με ξηροθερμικό κλίμα, όπως στην Κεντρική Αμερική και το Μεξικό από όπου προήλθε (Medina, 2007), χάρη στην ικανότητά του όμως να προσαρμόζεται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, απαντάται σε πολλά μέρη του κόσμου και σε όλες τις Παραμεσόγειες χώρες (Lahsasni, 2004). Το περισσότερο γνωστό είδος στην Ευρώπη είναι το *Opuntia ficus-indica* που είναι διαδεδομένο στην Σικελία, ενώ στη χώρα μας απαντάται κυρίως στη Ν. Ελλάδα και την Κρήτη (Ginestra, 2009; Yahia, 2011).

Ο καρπός είναι χυμώδης, ωοειδούς σχήματος που περιβάλλεται από παχύ φλοιό με μικρά αγκάθια, ενώ στο εσωτερικό περιέχει μεγάλη ποσότητα σπόρων. Ανάλογα με την ποικιλία, το χρώμα του καρπού μπορεί να διαφέρει (Juimenez-Aguilar, 2014), και είναι διαθέσιμος από τον Αύγουστο μέχρι τον Δεκέμβριο (Piga, 2000). Η διατροφική αξία του φραγκόσυκου, είναι μεγάλη καθώς είναι πλούσιο σε Κάλιο, Ασβέστιο και Φώσφορο (Yahia, 2011), όπως επίσης περιέχει και μεγάλα ποσοστά σακχάρων (γλυκόζη, φρουκτόζη) και διαλυτές και αδιάλυτες φυτικές ίνες (El Kossori, 1998). Ο καρπός και τα φύλλα του δέντρου φαίνεται ότι έχουν επίσης πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες, καθώς εκτός των άλλων περιέχουν αντιοξειδωτικές ουσίες, φλαβονοειδή και βιταμίνη C. Έχουν ερευνηθεί ως πιθανή θεραπεία για ασθένειες όπως γαστρίτιδα, υπεργλυκαιμία, αρτηριοσκλήρωση, διαβήτη και υπερτροφία του προστάτη (Guevara-Figueroa, 2010; Ammar, 2014). Οι σπόροι στο εσωτερικό του καρπού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή βρώσιμου ελαίου (Sawaya, 1982)

Η χημική σύσταση του φραγκόσκου περιγράφεται πιο αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 1.3. Χημική Σύσταση πολτού καρπών φραγκόσκων (g [100g]⁻¹ βρώσιμο μέρος)

Παράμετροι	Πράσινος Καρπός	Μωβ Καρπός	Πορτοκαλί Καρπός
Υγρασία	83.8	85.98	85.1
Πρωτεΐνη	0.82	0.38	0.82
Λίπος	0.09	0.02	-
Ίνες	0.23	0.05	-
Τέφρα	0.44	0.32	0.26
Ολικά Σάκχαρα	14.06	13.25	14.8
Βιταμίνη C (mg[100g] ⁻¹)	20.33	20	24.1
B-καροτένιο (mg[100g] ⁻¹)	0.53	-	2.28
Βεταλαΐνη (mg[100g] ⁻¹)	-	100	-

Πηγή: Saenz and Sepilveda (2001a); Saenz, Sepilveda and Moreno (1995a); Sepilveda and Saenz (1990).

Πίνακας 1.3.1. Χημική σύσταση φραγκόσκου (g/100g υγρής βάσης)

	Υδατάνθρακες		
	Πολτός	Φλούδα	Σπόρια
Σουκρόζη	0.2	2.3	0
Γλυκόζη	35	21	0
Φρουκτόζη	29.6	2.9	0

(El Kossori, 1998; Juimenez-Aguilar, 2014)

1.3.3. Κατανομή και κατανάλωση σε ορισμένες χώρες

Οι Οπούντιες βρίσκονται σε πολλές χώρες και είναι γνωστές από την αρχαιότητα για τις διάφορες χρήσεις τους και ιδιότητες τους. Χάρη στην έλλειψη άλλων τροφίμων, οι άνθρωποι βρήκαν τρόπους να συντηρούν τα φρούτα και να φτιάχνουν σιρόπια, τα οποία θα μπορούσαν να διατηρηθούν επ' αόριστον χωρίς να χαλάνε. Επιπλέον έφτιαχναν μια καραμέλα βράζοντας το χυμό του φραγκόσκου, «τυρί» από φραγκόσκου και αποξηραμένα φραγκόσκα (λιαστά). Για τον εορτασμό της συγκομιδής τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, παρασκευάζεται ένα κρασί από την πούλπα του φρούτου. Αυτά τα προϊόντα καταναλώνονται μέχρι και σήμερα, αν και τα πιο δημοφιλή μέρη του φυτού για τροφή παραμένουν τα φρέσκα φρούτα και τα σαρκώδη και τρυφερούς βλαστούς.

Το φυτό βρίσκεται καλλιεργούμενο ή άγριο σε πολλές χώρες του κόσμου. Έχει αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη περιοχή για παραγωγή φρούτου βρίσκεται στο Μεξικό, με περίπου 50.000 εκτάρια διαθέσιμα. Σύμφωνα με δεδομένα, εκτιμάται ότι 72.000 εκτάρια καλλιεργούνται για φρούτα και 10.500 εκτάρια για λαχανικά, χωρίς να αναφερθούμε στα εκατομμύρια εκταρίων όπου μεγαλώνουν αυτοφυή φυτά. Το Περού έχει περίπου 35.000 εκτάρια αυτοφυών φυτών που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναπαραγωγή κοχενίλλη. Η Βραζιλία έχει περίπου 40.000 εκτάρια για ζωοτροφές, η Ιταλία 2.500 για φραγκόσυκα και η Χιλή περίπου 1.100. Στην Τυνησία καλλιεργούνται 400.000-500.000 εκτάρια.

Καθώς το φυτό είναι ευρέως διαδεδομένο, υπάρχουν λίγα επίσημα στατιστικά και οι πληροφορίες για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις και τη χρήση τους είτε δεν είναι διαθέσιμες είτε τείνουν να είναι αναξιόπιστες.

Πολλοί παραγωγικοί τομείς χρησιμοποιούν τα φραγκόσυκα και τους σαρκώδεις καρπούς τους ως βιομηχανική πρώτη ύλη για καλλυντικά, αλκοολούχα ποτά και πρόσθετα τροφίμων. Το φυτό έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ως ζωντανός φράχτης σε κήπους και χωράφια και βοηθάει στην καταπολέμηση της ερημοποίησης (FAO, 2013).



Εικόνα 1.3. Φραγκόσυκα σε υπαίθρια αγορά

Η φραγκοσυκιά είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλη την Αμερική, από τον Καναδά ως τη Χιλή: στις νότιες ΗΠΑ, σε όλη την Κεντρική Αμερική και τις χώρες της Καραϊβικής και στις χώρες της Νοτίου Αμερικής όπως η Αργεντινή, η Βολιβία, η Βραζιλία, η Κολομβία, το Περού και η Βενεζουέλα. Άγρια και καλλιεργούμενα είδη *Opuntia spp.* υπάρχουν επίσης στην Αγκόλα, την Αυστραλία, την Ινδία και τη Νότιο Αφρική. Αυτές οι χώρες έχουν πάνω από 5 δισεκατομμύρια εκτάρια (ha) ξηρών και ημίξηρων περιοχών – τα πιο εκτενή ξηρά εδάφη του πλανήτη. Οι άνθρωποι που ζουν σε αυτές τις περιοχές ψάχνουν για είδη φυτών που να μπορούν να προσαρμοστούν, να αναπτυχθούν και να παρέχουν τρόφιμα και υλικά.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά της φραγκοσυκιάς είναι η ανατομία και η μορφολογία της, οι οποίες της επέτρεψαν να προσαρμόζεται σε εξαιρετικά στρεσογόνες συνθήκες ανάπτυξης, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό το φυτό μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη λύση σε περιοχές όπου άλλα φυτά δεν επιβιώνουν (FAO, 2013).

1.3.4. Φρούτα και βλαστός: Λειτουργικές Ιδιότητες

Λειτουργικά συστατικά είναι αυτά που βοηθούν στην πρόληψη ασθενειών. Τα φρούτα και οι βλαστοί του φραγκόσυκου αποτελούν πηγές αυτών των συστατικών, όπως οι διαιτητικές ίνες, τα υδροκολλοειδή, οι χρωστικές (βεταλαΐνες και καροτενοειδή), τα μέταλλα (ασβέστιο και κάλιο) και οι βιταμίνες με αντιοξειδωτική δράση, όπως η βιταμίνη C. Αυτές οι ουσίες εκτιμώνται για τη συμβολή τους στην υγιεινή διατροφή και ως συστατικά για το σχεδιασμό νέων τροφίμων.

Αυτές οι ουσίες μπορούν να εισαχθούν σε μια σειρά τροφίμων γνωστά ως λειτουργικά τρόφιμα, τα οποία είναι τρόφιμα ή ποτά που παρέχουν φυσιολογικά οφέλη. Ενισχύουν την υγεία, βοηθούν στην πρόληψη ή τη θεραπεία ασθενειών ή/και βελτιώνουν τη φυσική ή ψυχική απόδοση με την προσθήκη ενός ή περισσότερων λειτουργικών συστατικών ή με τις κατάλληλες βιοτεχνολογίες.

Από τις διαθέσιμες λειτουργικές ουσίες, οι φυτικές ίνες είναι από τις πιο μελετημένες. Έχει καθοριστεί η διατροφική τους αξία και η σχέση μεταξύ φυτικών ινών και υγείας (π.χ. ρύθμιση της χοληστερόλης και πρόληψη ασθενειών όπως ο διαβήτης και η παχυσαρκία) και οι περισσότεροι καταναλωτές είναι εξοικειωμένοι με αυτήν την πληροφορία.

Οι ίνες χαρακτηρίζονται ως διαλυτές ή αδιάλυτες στο νερό. Οι πρώτες αποτελούνται από κόλεις, κόμμεα, πηκτίνες και ημικυτταρίνες, ενώ οι τελευταίες κυρίως από κυτταρίνη, λιγνίνη και ένα μεγάλο κλάσμα ημικυτταρινών. Αυτά τα κλάσματα των φυτικών ινών έχουν διαφορετικές φυσιολογικές επιδράσεις. Οι διαλυτές φυτικές ίνες σχετίζονται με τα μειωμένα επίπεδα γλυκόζης και χοληστερόλης και με τη σταθεροποίηση των γαστρικών κενώσεων. Οι αδιάλυτες φυτικές ίνες επιτείνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού (αυξάνοντας το βάρος των κοπράνων), την ιονική ανταλλαγή και την απορρόφηση χολικών αλάτων, ανόργανων, βιταμινών και άλλων ουσιών, όπως επίσης και την αλληλεπίδραση με τη μικροβιακή χλωρίδα. Οι χρωστικές που βρίσκονται στα φρούτα είναι πολύτιμα αντιοξειδωτικά.

1.3.5. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία

Εκτός της χημικής σύστασης και της διατροφικής αξίας, υπάρχουν άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του φραγκόσυκου που παρουσιάζουν πρόσθετες προκλήσεις κατά την επεξεργασία του φρούτου. Οι υψηλές τιμές pH το κατατάσσουν στην κατηγορία των προϊόντων χαμηλής οξύτητας και σε συνδυασμό με το υψηλό περιεχόμενο διαλυτών στερεών κάνουν την πούλπα του ιδανικό μέσο ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα στην πούλπα, η πηκτίνη είναι εν μέρει υπεύθυνη για το ιξώδες και αποτελεί χρήσιμο συστατικό για την παραγωγή μαρμελάδων και ζελέ.

Το χρώμα των πορτοκαλί και μωβ φρούτων, που προκαλείται από τα καροτενοειδή και τις βεταλαΐνες (betalains) αντίστοιχα είναι ένας σημαντικός λόγος για την επεξεργασία τους, καθώς δημιουργεί δυνατότητα παραγωγής προϊόντων διαφορετικά χρωματισμένων. Επιπλέον οι βεταλαΐνες παρουσιάζουν σχετική σταθερότητα κατά τις θερμικές επεξεργασίες και τις μεταβολές του pH.

Το ιξώδες της πούλπας επηρεάζεται από την παρουσία πηκτίνης και κόλας, λόγω της ικανότητάς τους να δεσμεύουν και να συγκρατούν νερό. Αφού εκχυλιστούν από την πούλπα, αυτές οι ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηκτικοί παράγοντες των τροφίμων.

Άλλες σημαντικές ουσίες είναι οι πτητικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για το άρωμα του φραγκόσυκου και των προϊόντων του. Το λεπτό άρωμα μπορεί να επηρεαστεί από τις

διεργασίες – ορισμένα προϊόντα παίρνουν την οσμή γρασιδιού όταν επεξεργάζονται με θέρμανση.

1.3.6. Πιθανές χρήσεις

Η φραγκοσυκιά δίνει δυνατότητες για την επεξεργασία των φρούτων και των βλαστών. Όπως και τα άλλα φυτά, τα φρούτα και οι βλαστοί της φραγκοσυκιάς μπορούν να συντηρηθούν και να επεξεργαστούν, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες και πρακτικές. Μία πληθώρα παραδοσιακών τροφίμων παρασκευάζονται από τη φραγκοσυκιά: μαρμελάδες, χυμοί, νέκταρ, αποξηραμένα φρούτα, συμπυκνωμένοι χυμοί, σιρόπια, λικέρ, τουρσί.

Πολλά λειτουργικά συστατικά μπορούν να εκχυλιστούν και να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν και να εμπλουτίσουν νέα τρόφιμα. Αυτά περιλαμβάνουν φυσικά κόμμεα και χρωστικές με προοπτικές για τις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών. Προϊόντα πλούσια σε φυτικές ίνες μπορούν να παρασκευαστούν για τη ρύθμιση του διαβήτη και της παχυσαρκίας.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση της φραγκοσυκιάς παρέχει δυνατότητες για την εγκαθίδρυση μιας κεντρικής ή ορισμένων αλληλοεξαρτώμενων βιομηχανιών, μικρής και μεγάλης κλίμακας, βιοτεχνίες ή και πιο εμπορικές. Σημεία-κλειδιά αποτελούν η προσφορά και η ζήτηση, η μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης και η αποτελεσματική χρήση των πρώτων υλών. Αυτό βοηθά στην αύξηση των καθαρών αποδόσεων και στην αποφυγή της σπατάλης. Απόβλητα που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα υπονομεύουν τα κέρδη και εάν δεν απορριφθούν σωστά μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση του περιβάλλοντος.

Πολλοί κλάδοι της βιομηχανίας μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση των *Opuntias*. Ορισμένα παραδείγματα είναι:

- Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών (διάφορα τρόφιμα και αλκοολούχα και μη αλκοολούχα ποτά από το φρούτο και τους νεαρούς βλαστούς)
- Η βιομηχανία ζωοτροφών (συμπληρώματα και τροφές από βλαστούς και απόβλητα της επεξεργασίας των φρούτων, συμπεριλαμβανομένων του φλοιού και των σπόρων)

- Η βιομηχανία φαρμάκων (προστατευτικά του γαστρικού βλεννογόνου από εκχυλίσματα της κόλλας, δισκία και κάψουλες από σκόνη βλαστών και εκχυλισμάτων των ανθέων)
- Η βιομηχανία καλλυντικών (κρέμες, σαμπουάν και λοσιόν από βλαστό)
- Η βιομηχανία συμπληρωμάτων διατροφής (φυτικές ίνες και άλευρα από τα βλαστό)
- Η βιομηχανία φυσικών προσθέτων (κόμμεα και χρωστικές)
- Ο ενεργειακός τομέας (βιοαέριο από την πέψη βλαστών και απόβλητων των βιομηχανιών)
- Γεωργικές εισροές (εδάφη, οργανικά υλικά και βελτιωμένη αποστράγγιση)

Υπάρχει ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για τη χρήση διαφόρων μερών του φυτού.

Οι βλαστοί έχουν υψηλή περιεκτικότητα φυτικών ινών και αυτές μπορούν να ληφθούν με ξήρανση και άλεσή τους. Η προκύπτουσα σκόνη ή άλευρο χρησιμοποιείται σε τρόφιμα, σε συμπληρώματα διατροφής και στις βιομηχανίες φαρμάκων. Δισκία ή ταμπλέτες ινών από βλαστό είναι διαθέσιμες στη μεξικάνικη αγορά για πολλά χρόνια, όπου χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της παχυσαρκίας και του διαβήτη, αλλά οι μελέτες που έχουν γίνει δεν έχουν δείξει ξεκάθαρους μηχανισμούς για την αξία των βλαστών στη ρύθμιση του διαβήτη.

Παγκοσμίως λίγες είναι οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις εμπορικές φυτείες *Opuntia spp.* για παραγωγή καρπών. Αν και οι Οπούντιες καλλιεργούνται για τα φρούτα τους σε όλες τις ηπείρους, δεν διατίθενται στατιστικά στοιχεία από τις χώρες παραγωγούς: Αλγερία, Βραζιλία, Αίγυπτος, Ελλάδα, Ιορδανία, Μαρόκο, Περού, Ισπανία, Τυνησία και Τουρκία.

Το κύριο είδος που χρησιμοποιείται για παραγωγή καρπών παγκοσμίως είναι το *Opuntia ficus indica*. Το Μεξικό είναι ουσιαστικά η μόνη χώρα που καλλιεργεί *Opuntia spp.* για παραγωγή βλαστών, η πλειονότητα της οποίας πωλείται τοπικά ως φρέσκο προϊόν. Η προσφορά υπερβαίνει τη ζήτηση κατά την περίοδο αιχμής με επακόλουθο κορεσμό της αγοράς, προκαλώντας απώλειες μέχρι και 60% σε κάποιες περιόδους. Στο Μεξικό οι εμπορικές φυτείες φραγκόσυκου για παραγωγή λαχανικών καλύπτουν μια περιοχή 9710 εκταρίων με μια ετήσια παραγωγή 563443 τόνων. Η *Opuntia ficus-indica* είναι το βασικό εμπορικό είδος για παραγωγή λαχανικού στο Μεξικό (FAO, 2013).



Εικόνα 1.3.1. Εμπορικές ποικιλίες για παραγωγή καρπών φραγκοσυκιάς

1.3.7. Χρήση των βλαστών σε προϊόντα τροφίμων

Νέα προϊόντα που πρόσφατα εισήχθησαν στις Μεξικάνικες αγορές περιλαμβάνουν:

- Δημητριακά με βλαστό. Αυτό είναι ένα προϊόν σε μορφή πέλετ αποτελούμενο από μίγμα αλεύρου σιταριού με προσθήκη αφυδατωμένης σκόνης βλαστών και μαλτοδεξτρίνης που λειτουργεί σαν υδατοδιαλυτές φυτικές ίνες.
- Αλεύρι δημητριακών και βλαστών. Αυτό είναι ένα λεπτόκοκκο άλευρο που προκύπτει από την άλεση αφυδατωμένων βλαστών μαζί με σπόρους δημητριακών.

Το αλεύρι βλαστών λαμβάνεται με αφυδάτωση και άλεση πλυμένων και κομμένων βλαστών, αφού αυτά έχουν υποστεί αφαίρεση των αγκαθιών τους. Το άλευρο έχει εφαρμογές στη βιομηχανία αρτοποιίας, μπισκότων και ζυμαρικών και για την παραγωγή διαιτητικών ινών σε μορφή πέλετ. Οι φυτικές ίνες αποτελούν πολύτιμο προϊόν για τη βελτίωση της πέψης των διαλυτών ινών, που βοηθάει ανθρώπους που πάσχουν από δυσκοιλιότητα. Τα φύλλα του φραγκόσκου αποτελούν σημαντική πηγή τέτοιων ινών.

1.3.8. Φραγκοσυκιά Στην Ελλάδα

Η φραγκοσυκιά στην Ελλάδα βρίσκεται συχνά σε άγρια κατάσταση σε πολλούς φυσικούς – αυτοφυείς πληθυσμούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις η περιποίηση από μέρος των ιδιοκτητών της είναι σπάνια και σχεδόν ανύπαρκτη (Στρατουδάκης, 2013).

Τελευταίως έχουν συσταθεί συνεταιρισμοί, αλλά η ζήτηση ξεπερνά την προσφορά με αποτέλεσμα να εισάγονται ποσότητες. Επιπλέον, μέχρι στιγμής η καλλιέργεια είναι προσανατολισμένη στην παραγωγή καρπού και οι βλαστοί χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές. Το φραγκόσυκο είναι φρούτο εξαιρετικά ευαίσθητο και διατηρείται μία εβδομάδα το πολύ αφού κοπεί από τον κορμό.

1.4. Φορέας Ενθυλάκωσης (Fibersol-2)

Το Fibersol-2 είναι ένα υδατοδιαλυτό σκεύασμα ινών αμύλου αραβοσίτου σε μορφή σκόνης και χρησιμοποιείται ως εμπλουτισμός διαιτητικών ινών σε ποικιλία τροφών. Χρησιμοποιείται με ελάχιστες αλλαγές στην σύστασή του σε μια ποικιλία διεργασιών τροφίμων για τη διατήρηση ή τη βελτίωση των επιθυμητών χαρακτηριστικών ενός προϊόντος. Ακόμα και σε σημαντικά επίπεδα προσθήκης του το Fibersol-2 δεν επηρεάζει τη γεύση ή το ιξώδες. Το Fibersol-2 είναι μια ξηρανθείσα με ψεκασμό σκόνη που παράγεται με μια μέθοδο ελεγχόμενης ενζυματικής υδρόλυσης του αμύλου αραβοσίτου. Έχει πολυάριθμους δεσμούς αμύλου οι οποίοι παραμένουν άθικτοι από ένζυμα της ανθρώπινης πεπτικής οδού. Έχει αναγνωριστεί ως GRAS (generally recognized as safe – Γενικά αναγνωρισμένη ως ασφαλής) από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) και διαθέτει πιστοποιήσεις Kosher και Pareve από την Orthodox Union. Η ποικιλία λειτουργικών, φυσικών και αισθητηριακών χαρακτηριστικών του Fibersol-2 προσφέρει ευκαιρίες σε εφαρμογές τροφίμων και ποτών. Μπορεί να ενσωματωθεί σε όλους τους τύπους ποτών, επεξεργασμένων τροφών, γαλακτοκομικών προϊόντων, κατεψυγμένων γαλακτοκομικών επιδορπίων, γλυκισμάτων, διαιτητικών συμπληρωμάτων και πολλά άλλα.

Πίνακας 1.4. Χαρακτηριστικά Fibersol-2

Χρώμα	Υπόλευκη σκόνη, διαυγές, διαφανές σε διάλυμα 10%, ανθεκτική τόσο στην ενζυματική όσο και στη μη ενζυματική αμαύρωση
Γεύση	Καμία γεύση, καθαρή
Διαλυτότητα	Διαλυτό σε νερό έως και 70% (w/w) στους 20°C
Ικανότητα Διασποράς	Εξαιρετική
Υγροσκοπικότητα	Πολύ χαμηλή
Σταθερότητα	Σταθερή σε επεξεργασία με οξέα, θερμότητα, κατάψυξη/απόψυξη
Ιξώδες	Αρκετά χαμηλό, 15cps, 30% διάλυμα στους 30°C
Γλυκύτητα	Χαμηλή, όχι γλυκιά
Μαζική πυκνότητα (Bulk density)	Περίπου 0.48g ανά ml

Πίνακας 1.4.1. Χημικές ιδιότητες Fibersol-2

Υδατοδιαλυτές Ίνες αραβοσίτου	90% ελάχιστο ποσοστό ξηρών στερεών
Υγρασία	6% μέγιστο
Πρωτεΐνη	Καμία
Λίπη	Κανένα
Οξύτητα	pH 4.0-6.0

1.4.1. Λειτουργία- Δράση στον ανθρώπινο οργανισμό

Λόγω της δυνατότητάς τους να αντικαθιστά τη λειτουργικότητα της ζάχαρης, χρησιμοποιείται συχνά για την μείωση της ζάχαρης και των θερμίδων. Είναι αρκετά υδατοδιαλυτό και σταθερό στην θερμότητα γεγονός που το καθιστά ικανό σε χρήση ζεστών ροφημάτων, ψήσιμο ή μαγείρεμα. Αυξάνει την απορρόφηση ασβεστίου και υποστηρίζει την μεταλλοποίηση των οστών. Έχει χαμηλή γλυκαιμική απόκριση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τρόφιμα που αποσκοπούν να προκαλέσουν χαμηλότερη απόκριση γλυκόζης και ινσουλίνης μετά τα γεύματα. Οι διαλυτές ίνες καλαμποκιού βοηθούν στην προώθηση της πεπτικής υγείας μέσω της επίδρασής τους στο γαστρεντερικό σύστημα. Επίσης οι ίνες αυτές είναι προβιοτικές και διαιτητικές. Κατά την διαδικασία της πέψης περνάνε από το στομάχι και το λεπτό έντερο χωρίς να χωνευτούν και στη συνέχεια μεταβολίζονται με αργό ρυθμό από την μικροχλωρίδα στο παχύ έντερο.

Μικροβιολογικές ιδιότητες

- Τυπικός αριθμός μικροοργανισμών: Λιγότερο από 300 / g
- Ζύμη / μούχλα: Λιγότερο από 100 / g
- Coliform: Αρνητικό
- E. Coli: Αρνητικό
- Σαλμονέλα: Αρνητική
- Σταφυλόκοκκος : Αρνητικό

2. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση της δημιουργίας νανοσωματιδίων μέσω της μεθόδου ηλεκτρονηματοποίησης για την αποτελεσματική ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και στη συνέχεια να χρησιμοποιούνται για πιθανή ενσωμάτωση σε άλλα τρόφιμα, όπως δημητριακά. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων αξιοποίησης του φυτού αυτού, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα διαφορετικών συνθηκών, και μάλιστα σε ξηρές περιοχές, όπως είναι το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την παραγωγή φραγκόσυκου σε σκόνη είναι ελάχιστες, ιδιαίτερα με την μέθοδο της ηλεκτρονηματοποίησης διότι υπάρχουν αρκετές δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν όπως αναφέρεται παρακάτω, καθώς η ξήρανση φρούτων είναι μία εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία λόγω των σακχάρων που περιέχουν και μέρος αυτού του κενού που υπάρχει στη βιβλιογραφία επιχειρεί να καλύψει η παρούσα μελέτη.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την πραγματοποίηση του πειράματος αγοράστηκαν από τοπικές αγορές εμπορίας φρούτων και λαχανικών, 6 κιλά καρπού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus indica*) μωβ χρώματος. Οι καρποί αφού πλύθηκαν καλά με νερό για να φύγουν τα αγκάθια, αποφλοιώθηκαν και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι τη χρησιμοποίησή τους. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως φορέας ενθυλάκωσης των χρωστικών του χυμού ήταν το Fibersol[®]-2 digestion-resistant maltodextrin.



Εικόνα 3.1. Φραγκόσυκα (*Opuntia ficus indica*)

3.1. Χειρισμός καρπών

Οι αποφλοιωμένοι καρποί πολτοποιήθηκαν και περάστηκαν από κόσκινο ώστε να απομακρυνθούν τα κουκούτσια, που περιέχουν σε μεγάλο βαθμό. Στη συνέχεια έγινε

φυγοκέντριση του πολτού σε 10,000 rpm για 10 λεπτά στους 25 °C (Sorval Lynx 6000 Centrifuge), για να απομακρυνθούν τελείως οι ίνες. Ο χυμός που προέκυψε ομογενοποιήθηκε με Fibersol-2, σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, και ακολούθησε ηλεκτρονηματοποίηση των δειγμάτων, με σκοπό να διαπιστωθούν οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας για την παραγωγή ενθυλακωμένης σκόνης. Τα δείγματα που παρασκευάστηκαν περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1. Περιγραφή των δειγμάτων

Όνομα Δείγματος	Ποσότητα Fibersol-2 (g/100g δ/τος)	Ποσότητα Χυμού (g/100g δ/τος)
25% Fib2/χυμός	25	50
35% Fib2/χυμός	35	50
35% Fib2/χυμός αρ. 1:2	35	25
40% Fib2/χυμός	40	50
40% Fib2/χυμός αρ. 1:2	40	25
45% Fib2/χυμός	45	50
45% Fib2/χυμός αρ. 1:2	45	25
45% Fib2/χυμός αρ. 1:3	45	16

Αναλυτικότερα ένα παράδειγμα παρασκευής δείγματος παρουσιάζεται ως εξής:

- 25% Fib2/χυμός → Ζυγίστηκαν 25g Fibersol-2 50g χυμού φραγκόσυκου και 25g απιονισμένο νερό τα οποία προστέθηκαν σε ποτήρι ζέσεως και ομογενοποιήθηκαν με ανάδευση στις 1500 στροφές/λεπτό για 5 λεπτά μέχρι να δημιουργηθεί οπτικά ένα ομογενές μίγμα χωρίς συσσωματώματα και φυσαλίδες. Ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στην παρασκευή των υπόλοιπων δειγμάτων με διαφορετική ποσότητα Fibersol-2 και με τη διαφορά στο ζύγισμα 50g αραιωμένου χυμού 1:2 ή 1:3 σε όσα δείγματα χρειάστηκε.

3.2. Παρασκευή σκόνης με ηλεκτρονηματοποίηση

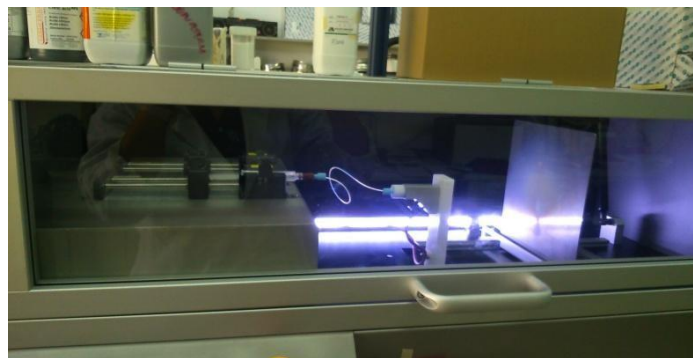
Η συσκευή για τη διαδικασία της ηλεκτρονηματοποίησης (electrospinning) που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Fluidnatek LE-10 (BioInicia S.L., Valencia, Spain). Η συσκευή

μπορεί να παράγει ένα εύρος ηλεκτρικού πεδίου από 0 έως 30 kV. Οι συνθήκες αυτές έχουν να κάνουν με τον ρυθμό ροής του διαλύματος στο ακροφύσιο του συστήματος και την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Οι τιμές του ρυθμού ροής αλλά και του ηλεκτρικού πεδίου με τα οποία γίνεται η διαδικασία του electrospinning εξαρτώνται από τις ιδιότητες του πολυμερούς όπως το ιξώδες, η επιφανειακή τάση ή το μοριακό βάρος κ.α αλλά και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος που γίνεται η διαδικασία. Η διαδικασία του electrospinning έγινε με σταθερό ρυθμό ροής μέσω μιας χαλύβδινης βελόνας με εσωτερική διάμετρο 0,7 mm. Η σύριγγα τοποθετήθηκε οριζοντίως σε μία ψηφιακά ελεγχόμενη αντλία, ενώ η βελόνα ήταν σε οριζόντια θέση έναντι ενός μεταλλικού συλλέκτη.

Τα διαλύματα εισήχθησαν σε πλαστική σύριγγα των 5 ml και ρυθμίστηκαν οι συνθήκες του ψεκασμού. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Οι συνθήκες του electrospinning βελτιστοποιήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν στα 80-100 $\mu\text{l/h}$ για το ρυθμό ροής και 10-20 kV για το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόζεται στο σύστημα. Μια άλλη παράμετρος που ρυθμίστηκε ήταν η απόσταση του ακροφύσιου με τον συλλέκτη του δείγματος που ήταν στα 13 cm.



Εικόνα 3.2. Συσκευή electrospinning

Για να θεωρηθεί η διαδικασία επιτυχής θα πρέπει κατά τη διάρκεια του electrospinning να εμφανιστεί μια λεία λευκή σκιά στον συλλέκτη του συστήματος, όπου και αυτό θα είναι το τελικό ηλεκτρονηματοποιημένο δείγμα. Αυτό σημαίνει πως οι συνθήκες έχουν ρυθμιστεί σωστά και σχηματίζεται σωστά ο κώνος Taylor. Στις περιπτώσεις όμως που δε σχηματίζεται

ο κώνος Taylor το δείγμα που ψεκάζεται στον συλλέκτη είναι ανομοιόμορφο και έχουν δημιουργηθεί φυσαλίδες ή ανομοιόμορφες περιοχές. Έτσι επαναπροσδιορίζονται οι τιμές του ρυθμού ροής και του ηλεκτρικού πεδίου μέχρι να δημιουργηθεί το βέλτιστο δείγμα.

Στο τέλος της διαδικασίας της ηλεκτρονηματοποίησης το δείγμα το οποίο ήταν σε μορφή σκόνης, συλλέχθηκε με προσοχή από τον συλλέκτη και μεταφέρθηκε σε τρυβλία τα οποία τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα. Βασική προϋπόθεση για να συλλεχθεί το δείγμα ήταν η επιφάνεια του στο συλλέκτη να είναι λεία και χωρίς ατέλειες.

Στα αποτελέσματα μετά από τον χαρακτηρισμό τους, τα δείγματα φάνηκαν να έχουν σφαιρική δομή και όχι ινώδη μορφή όπως αναμενόταν, έτσι η διαδικασία δεν ήταν η ηλεκτρονηματοποίηση (electrospinning) αλλά ο ηλεκτροψεκασμός (electrospraying). Οι δύο αυτές διαδικασίες είναι ίδιες, αλλά διαφέρουν ως προς το αποτέλεσμα στο συλλέκτη. Έτσι στο εξής η διαδικασία θα αναφέρεται ως ηλεκτροψεκασμός (electrospraying).

Πίνακας 3.2. Συνοπτική παρουσίαση πειραματικών δοκιμών ηλεκτροψεκασμού

Δοκιμές	Αποτελέσματα Δοκιμών
Αλλαγή μορφής συλλέκτη (κύλινδρος, πλάκα)	Επιτυχία διαδικασίας με συλλέκτη πλάκα (παραγωγή ποσότητας σκόνης), Αποτυχία διαδικασίας με χρήση κυλίνδρου (παραγωγή υγρών ακανόνιστων σωματιδίων)
Χρήση διπλής σύριγγας	Αποτυχία διαδικασίας (ακανόνιστος κώνος Taylor)
Χρήση μίας σύριγγας με μικτό διάλυμα Fibersol-2/χυμό	Επιτυχία διαδικασίας (Αποτελεσματική παραγωγή σκόνης και ομοιόμορφη διεξαγωγή πειράματος)
Αλλαγή Συγκεντρώσεων (χυμού και Fibersol-2)	Ποικιλία αποτελεσμάτων με παραγωγή σκόνης στα μισά δείγματα και αρκετές αστοχίες στα υπόλοιπα
Απόσταση συλλέκτη από σύριγγα	Μέγιστη απόδοση στα 13 cm
Ροή διαλύματος	Μέγιστη απόδοση στα 90-100 μl/h
Τάση Ρεύματος	Μέγιστη απόδοση στα 19,9 kV

3.3. Μέτρηση Ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διαλυμάτων έγινε με αγωγιμόμετρο Lovibond Water Testing Tintometer Group (Sensodirect Con110). Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκαν 35 mL διαλύματος και καταβυθίστηκε σε αυτό η ράβδος του αγωγιμόμετρου. Για κάθε διάλυμα έγιναν τρεις μετρήσεις. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διαλυμάτων κυμαίνονταν από 7-54 mS. Επίσης έγιναν μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χυμού φραγκόσυκου αλλά και του διαλύματος Fibersol-2. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε θερμοκρασία 25°C.

3.4. Ρεολογικές Μετρήσεις

Οι ρεολογικές μετρήσεις των διαλυμάτων έγιναν με ρεόμετρο (Discovery HR-3, TA Instruments, New Castle, DE, USA) εξοπλισμένο με τη γεωμετρία των ομόκεντρων κυλίνδρων (κάτω γεωμετρία 30 mm διάμετρος, άνω γεωμετρία 28 mm διάμετρος). Η θερμοκρασία που έγιναν οι μετρήσεις του ιξώδους ήταν στους 25°C η οποία έμεινε σταθερή μέσω ενός υδατόλουτρου που ήταν συνδεδεμένο με το ρεόμετρο. Το φαινόμενο ιξώδες καθορίστηκε σε σχέση με το επιβαλλόμενο ρυθμό διάτμησης με τιμές από 0,01 έως 100 s⁻¹.

Ο χρόνος της μέτρησης ήταν 10 λεπτά και μέσα σε αυτόν τον χρόνο σημειώθηκαν 10 σημεία που εμφανίζονται στο τελικό διάγραμμα της ρεολογικής συμπεριφοράς των διαλυμάτων. Το κενό μεταξύ των δύο κυλίνδρων ήταν καθορισμένο στα 0,1 cm. Το δείγμα προς μέτρηση μέσα στον κύλινδρο ήταν 20 g και για κάθε διάλυμα γίνονταν δύο μετρήσεις. Για την επαναληπτική μέτρηση το δείγμα αντικαθιστούνταν λόγω του ότι οι ιδιότητες του δείγματος τροποποιούνταν μετά την διατμητική τάση που του επιβαλλόταν από τους κυλίνδρους.



Εικόνα 3.3. Γεωμετρία ομόκεντρων κυλίνδρων

3.5. Προσδιορισμός Υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας στα δείγματα αλεύρων, στον καρπό και στο βλαστό του φραγκόσυκου χρησιμοποιήθηκε ο ξηραντήρας Memmert. Πρόκειται για έναν ξηραντήρα απλού τύπου που λειτουργεί με ρεύμα αέρα και χρησιμοποιείται κυρίως σε εργαστήρια και σε βιομηχανίες μικρής κλίμακας.

Η μέτρηση της υγρασίας έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο AACC 44-15 A, (1999). Αρχικά τοποθετούνται γυάλινα φιαλίδια ξήρανσης σε κλίβανο στους 105 °C για 3 ώρες, ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία. Τα φιαλίδια ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφείων ώστε να προσδιοριστεί το απόβαρο. Στη συνέχεια ζυγίζονται οι αρχικές ποσότητες δειγμάτων εντός των φιαλιδίων και τοποθετούνται στον ξηραντήρα για 3 ώρες. Έπειτα τα φιαλίδια τοποθετούνται σε ξηραντήριο μέχρι να κρυσώσουν και ζυγίζονται.

Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Από την απώλεια βάρους υπολογίστηκε η περιεχόμενη υγρασία και εκφράστηκε ως % σε ξηρή βάση.

$$\text{υγρασία(\%)} = \frac{W_{\alpha\rho\chi} - W_{\tau\epsilon\lambda}}{W_{\alpha\rho\chi}} \times 100$$

3.6. Προσδιορισμός Ενεργότητας Νερού (a_w)

Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού έγινε με τη χρήση του οργάνου (Rotronic, Hygrolab). Το όργανο προθερμάνθηκε για 5 ώρες τουλάχιστον μέχρι η θερμοκρασία του συστήματος να σταθεροποιηθεί. Ζυγίστηκαν σε μικρά πλαστικά δοχεία ποσότητες από το κάθε δείγμα. Η ποσότητα του δείγματος πρέπει να είναι ίση περίπου με τα 2/3 της περιεκτικότητας του δοχείου για να γίνει σωστά η μέτρηση. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν μέσα στην υποδοχή του οργάνου και λήφθηκε η μέτρηση στους 25 °C. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις.

3.7. Μέτρηση pH - Προσδιορισμός διαλυτών στερεών συστατικών (°Brix)

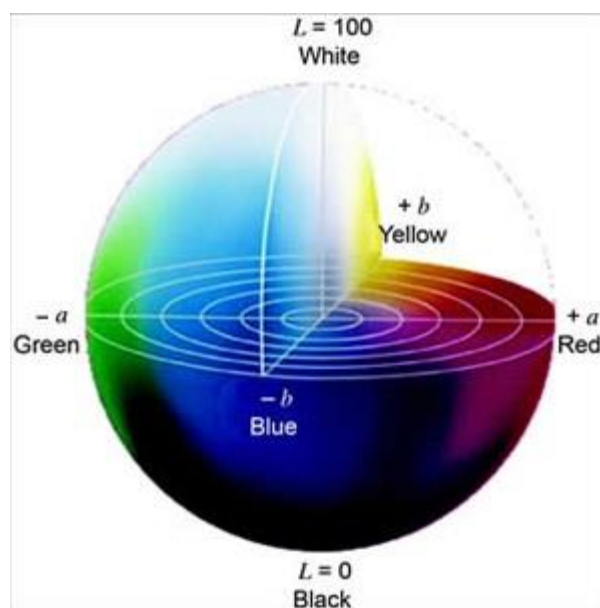
Η μέτρηση του pH στον καρπό και το βλαστό έγινε με το (HANNA, HI 98150) ενώ τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά με ψηφιακό διαθλασίμετρο (SR-95, Medline) και εκφράστηκαν ως °Brix %. Για κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

3.8. Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των άλευρων καρπού, καθώς και του χυμού έγινε με χρήση του χρωματόμετρου χειρός 3nh High-Quality Spectrophotometer NS800S (Shenzhen 3nh Technology Co., China).

Οι μετρήσεις του χρώματος βασίστηκαν στον προσδιορισμό των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* του συστήματος CIE (1976). Το L^* εκφράζει τη φωτεινότητα με τιμή $L^*=0$ να αντιστοιχεί στο μαύρο και τιμή $L^*=100$ να αντιστοιχεί στο λευκό. Οι τιμές των a^* , b^* είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα μαύρου-άσπρου. Η θετική τιμή για το a^* υποδεικνύει κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή πράσινο χρώμα. Η θετική τιμή για το b^* υποδεικνύει κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή μπλε χρώμα. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, τα δείγματα

τοποθετήθηκαν σε μικρά πλαστικά και διαφανή ταψάκια. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν με χρήση λευκής και μαύρης πλάκας αναφοράς πριν από κάθε μέτρηση. Για κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον 3 επαναλήψεις.



Εικόνα 3.4. Κατανομή χρωμάτων σε τρεις άξονες (CIE Lab)

3.9. Προσδιορισμός Σακχάρων

Η συγκέντρωση των σακχάρων προσδιορίστηκε με Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (Prominence, Shimadzu, Kyoto, Japan) εξοπλισμένη με μία στήλη Aminex HPX-87H (BioRad, Hercules, CA, USA), συνδεδεμένη με ένα διαφορικό διαθλασίμετρο (RID-10A, Shimadzu, Kyoto, Japan). Η κινητή φάση ήταν ένα υδατικό διάλυμα 10 mM H₂SO₄ με ταχύτητα ροής 0.6 mL min⁻¹. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 επαναλήψεις, στο χυμό που φυγοκεντρήθηκε για την απομάκρυνση των ινών σε 2 διαφορετικές αραιώσεις.

3.10. Προσδιορισμός θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης (Tg)

Η μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων και συγκεκριμένα της θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης (Tg) γίνεται με τη χρήση της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC)

προκειμένου να εκτιμηθούν οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης των αλεύρων, με τη βοήθεια της συσκευής διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης που βρίσκεται στο εργαστήριο (TA Instruments Q100 DSC).

Αρχικά ζυγίζονται 1 mg δείγματος και τοποθετούνται σε καψύλλια αλουμινίου τα οποία σφραγίζονται ερμητικά με τη βοήθεια πρέσας συμπίεσης κι έπειτα τοποθετούνται στη συσκευή DSC. Για κάθε δείγμα χρησιμοποιείται αντίστοιχα και ένα άδειο καψύλλιο ως τυφλό δείγμα. Για τη μέτρηση ακολουθήθηκε η μέθοδος των Caliscan et.al. (2015) καθώς χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή για μέτρηση σε άλευρο από ακτινίδιο. Τα δείγματα θερμάνθηκαν από τη θερμοκρασία των 40 °C έως 120 °C, με ρυθμό 10 °C/min. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση του λογισμικού TA Instruments Universal analysis. Το θερμογράφημα που προκύπτει από την DSC προσδιορίζει την έναρξη (onset), το μέσο (midpoint) και το καταληκτικό σημείο (endpoint). Η θερμοκρασία ναλώδους μετάπτωσης υπολογίζεται ως το μέσο του αρχικού και του καταληκτικού σημείου.



Εικόνα 3.5. Συσκευή Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC)

3.11. Μικροδομή και μέγεθος σωματιδίων

Η μικροδομή των σωματιδίων μετά των ηλεκτροψεκασμό ορίστηκε από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL JSM 6360 σε μία επιταχυνόμενη τάση στα 20 kV και σε απόσταση σάρωσης στα 9-12 mm, το οποίο ήταν εξοπλισμένο με ένα σύστημα εκπομπής εικόνας. Αρχικά τα δείγματα τα οποία ήταν σε μορφή σκόνης χρειάστηκε να επιμεταλλωθούν με ένα μείγμα χρυσού με παλλάδιο κάτω από συνθήκες κενού και μετά να εξεταστεί η δομή τους σε θερμοκρασία 25°C. Οι εικόνες που λήφθηκαν προέρχονταν από διάφορες περιοχές των δειγμάτων ώστε να υπάρχει μια πλήρης εικόνα για τη μικροδομή ολόκληρου του δείγματος. Για να μετρηθεί ο μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων σε κάθε δείγμα έγινε επεξεργασία των εικόνων αυτών με το λογισμικό Image Pro όπου υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η διασπορά των διαμέτρων των σωματιδίων

3.12. Στατιστική Επεξεργασία

Για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν στατιστικά εργαλεία παραμετρικής ανάλυσης (ANOVA) για τον έλεγχο σημαντικότητας. Η στατιστική επεξεργασία έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics 18 (Statgraphics, Rockville, Md, USA). Η μέθοδος Fisher LSD χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των σημαντικών διαφορών μεταξύ των δειγμάτων. Σημαντική θεωρήθηκε μια τιμή- p μικρότερη του 0,05.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Προσδιορισμός Φυσικοχημικών ιδιοτήτων καρπού

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του καρπού-χυμού φραγκοσυκιάς παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Φυσικές ιδιότητες καρπού-χυμού φραγκόσυκου

°Brix	11.06 ± 0.11
pH	4.94 ± 0.01
a _w	0.97 ± 0.004
Νερό (%)	87.43 ± 0.12
<u>Σάκχαρα (g/L)</u>	
Γλυκόζη	36.61 ± 0.45
Φρουκτόζη	36.75 ± 0.31
Σακχαρόζη	0.41 ± 0.02
<u>Χρώμα</u>	
L	20.9 ± 0.46
a	3.60 ± 0.92
b	6.73 ± 2.09

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις έγιναν μετά τη φυγοκέντριση του χυμού και την απομάκρυνση των ινών. Τα αποτελέσματα των τιμών του pH, της ενεργότητας νερού και της υγρασίας συμφωνούν με αυτά των *Medina et. al. (2007)* και *Vergara et. al. (2014)*, ενώ τα διαλυτά στερεά συστατικά παρουσιάζονται σε ελαφρώς μικρότερη ποσότητα (14.05 ± 1.87) λόγω της απουσίας των φυτικών ινών. Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των σακχάρων συμφωνούν περίπου με τους *El Kossori et. al. (1998)* και *Jimenez-Aguilar et. al. (2014)*, οι οποίοι βρήκαν ότι η ποσότητα είναι 0.3 g/L σακχαρόζη, 35 g/L γλυκόζη και 29.6 g/L φρουκτόζη, ενώ για τις ιδιότητες του χρώματος δεν βρέθηκε κάποια παρόμοια μέτρηση σε χυμό φραγκόσυκου ίδιου χρώματος, παρά μόνο σε χυμό χρώματος κόκκινο-μωβ (*Rodriguez-Hernandez et. al. 2005*). Το χρώμα του χυμού θα μπορούσε να περιγραφεί ως πολύ σκούρο και ελκυστικό για τους καταναλωτές, κόκκινο-μωβ. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η τιμή του pH και η παρουσία των σακχάρων, έχουν ως αποτέλεσμα ο χυμός-καρπός να είναι εξαιρετικά ευαίσθητος σε μικροοργανισμούς, επομένως θα πρέπει να καταναλώνεται φρέσκος ή να εφαρμόζεται κάποια θερμική επεξεργασία.

4.2. Ιδιότητες διαλυμάτων

4.2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Όπως έχει προαναφερθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μία ακόμα παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού και την επιτυχή παραγωγή σωματιδίων. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξήθηκαν με την αύξηση της συγκέντρωσης του Fibersol 2 στα διαλύματα και με την περιεκτικότητά τους σε χυμό.

Σε έρευνες έχει αποδειχθεί ότι γενικά η προσθήκη ενός πολυσακχαρίτη μπορεί να αυξήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος όταν προστίθεται σε αυτό (Rocik et al, 2012), όπως συνέβη και στη συγκεκριμένη μελέτη.

Πίνακας 4.2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλυμάτων ηλεκτροψεκασμού

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (mS/m)	
35% Fib2/χυμός	20 ± 0,06
35% Fib2/χυμός αρ. 1:2	54 ± 0,01
40% Fib2/χυμός	58,1 ± 0,26
Διάλυμα Fibersol-2 35%	7 ± 0,02
Κόκκινος Χυμός Φραγκόσυκο	91,9 ± 0,01

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται με τη συγκέντρωση των πολυμερών επειδή παρουσιάζουν ιδιότητες πολυηλεκτρολυτών όταν βρίσκονται σε υδατικό διάλυμα. Ο σχηματισμός του πίδακα του διαλύματος που πρόκειται να δημιουργηθεί από τον ηλεκτροψεκασμό εξαρτάται από τις υψηλές πυκνότητες των φορτίων στην επιφάνεια του διαλύματος, οι οποίες επηρεάζονται από το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο αλλά και από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του βιοπολυμερούς. Όταν οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μεγάλες, το φορτίο που φέρει το διάλυμα προς ηλεκτροψεκασμό είναι πολύ υψηλό με αποτέλεσμα να αποσταθεροποιείται ο κώνος Taylor και έτσι να μην επιτυγχάνεται, δηλαδή να μην σχηματίζονται τα σωματίδια ή οι ίνες (Bock et al, 2012).

Αυτό είναι πιθανό να συνέβη και στην περίπτωση των διαλυμάτων που περιείχαν Fibersol 2 με συγκέντρωση 45% χωρίς αραιωμένο χυμό όπου σε αυτά η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν σε πολύ υψηλές τιμές με αποτέλεσμα αποσταθεροποιημένου κώνου Taylor και πολύ μικρότερη παραγωγή σκόνης από την αναμενόμενη.

Συνοπτικά από διάφορες μελέτες που έχουν η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο επιθυμητό αποτέλεσμα του ηλεκτροψεκασμού δίνεται ως εξής:

1) Εάν το ηλεκτρικό δυναμικό είναι υψηλό, ο ρυθμός ροής είναι χαμηλός και η συγκέντρωση (πολυμερούς) είναι υψηλή, μια μεγαλύτερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα επιτευχθεί. Οπότε όσο πιο υψηλή η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τόσο πιο μικρή επιφανειακή τάση θα υπάρχει και η διάμετρος των σωματιδίων θα είναι αρκετά μικρότερη.

2) Εάν το ηλεκτρικό δυναμικό είναι χαμηλό, ο ρυθμός ροής υψηλός τότε προκύπτει χαμηλή συγκέντρωση και χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο συνδυασμός χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υψηλής επιφανειακής τάσης παράγει μεγαλύτερα σωματίδια.

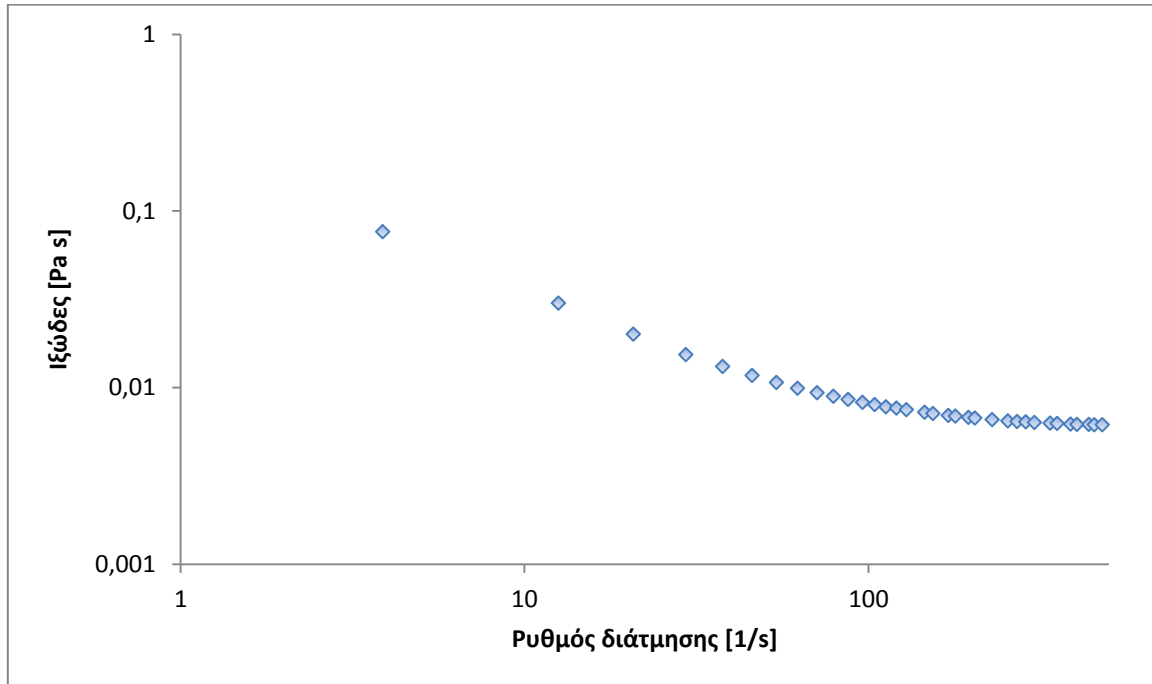
Ο Khan et al. (2012) διαπίστωσε την σχέση μεταξύ αγωγιμότητας και ρυθμού ροής, λέγοντας πως η αύξηση της αγωγιμότητας είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της επιφανειακής τάσης παράγοντας μικρότερα σωματίδια, παρόλα όμως αυτά εάν ο ρυθμός ροής και η αγωγιμότητα αυξηθούν ταυτόχρονα, η δομή των σωματιδίων που θα παραχθούν θα είναι πολύ καλύτερη (Jaworek and Sobczyk, 2008; Khan et al., 2012).

4.2.2. Ρεολογικές ιδιότητες διαλυμάτων

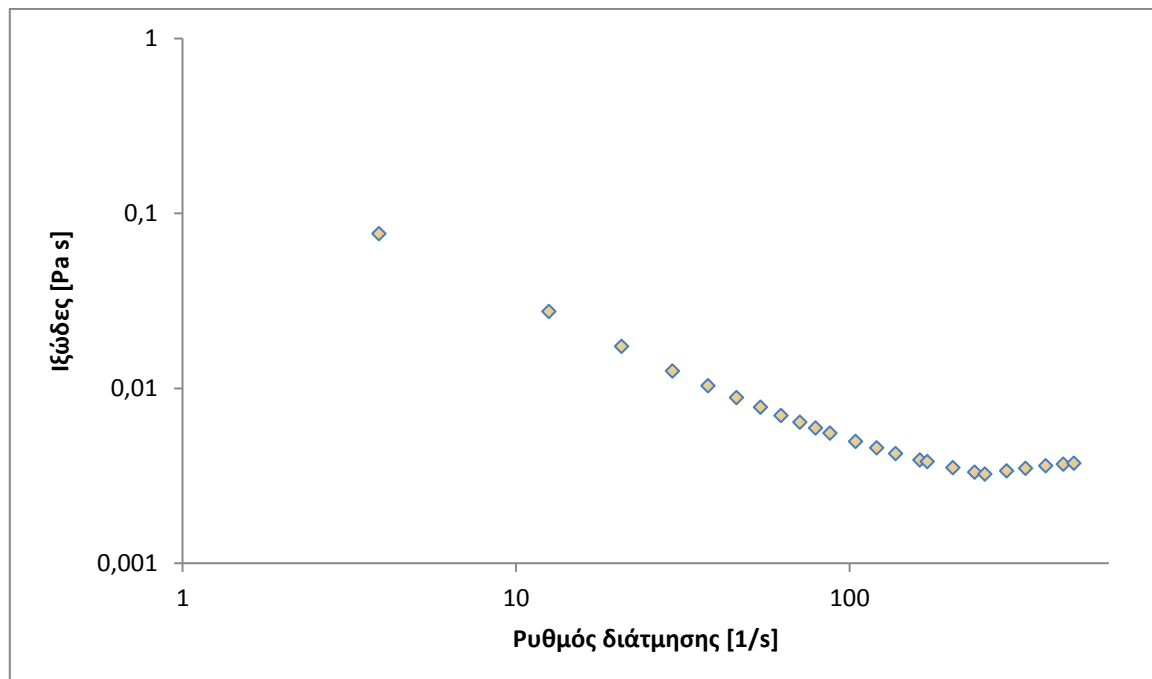
Για να θεωρηθεί επιτυχής η διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού θα πρέπει να είναι γνωστές οι ιδιότητες του διαλύματος. Μια ιδιότητα που παίζει βασικό ρόλο στην επιλογή των παραμέτρων του συστήματος του ηλεκτροψεκασμού είναι η ιξωδοελαστικότητα του διαλύματος, η οποία μπορεί να επηρεάσει την διαδικασία του σχηματισμού του κώνου Taylor αλλά και τη σταθερότητά του. Επομένως το διάλυμα θα πρέπει να διατηρεί το κατάλληλο ιξώδες ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στις συνθήκες οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τον ηλεκτροψεκασμό (Rocik et al, 2012).

4.2.3. Ιξώδες διαλύματος

Στα παρακάτω γραφήματα περιγράφεται η ρεολογική συμπεριφορά του χυμού φραγκόσυκου που χρησιμοποιήθηκε καθώς και του διαλύματος Fibersol 2 (35%).

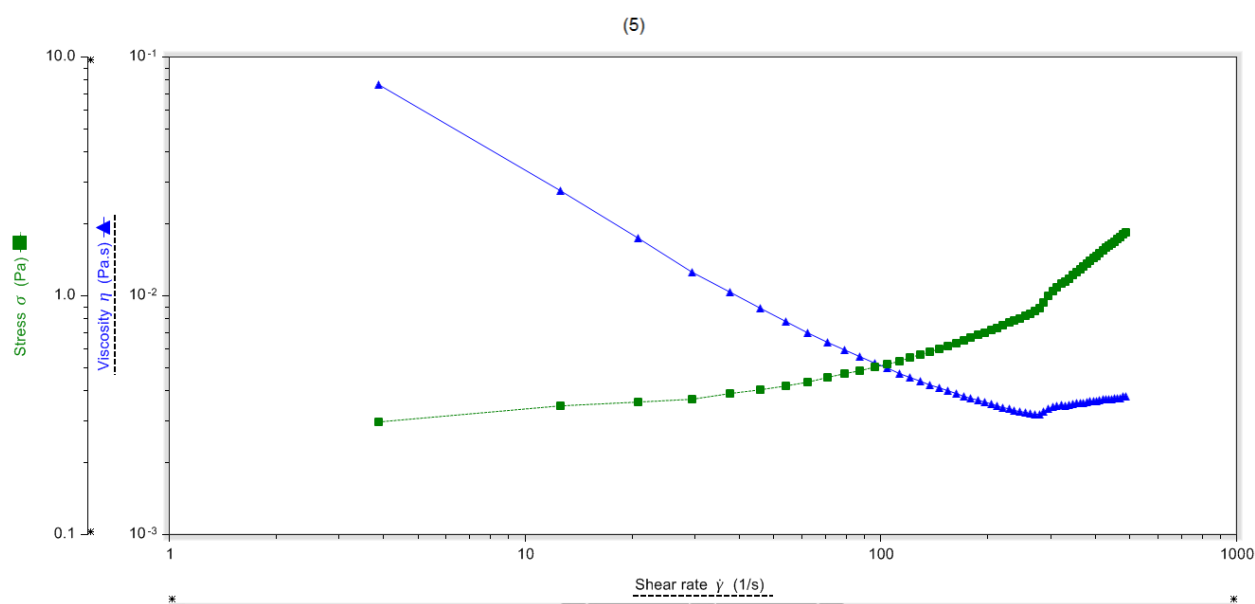


Διάγραμμα 4.1. Ρεολογική συμπεριφορά διαλύματος Fibersol-2 35%



Διάγραμμα 4.2. Ρεολογική συμπεριφορά κόκκινου χυμού φραγκόσυκου

Και τα δύο διαλύματα φαίνεται να παρουσιάζουν συμπεριφορά ψευδοπλαστικού ρευστού, αφού καθ'όλη τη διάρκεια της διάτμησης το ιξώδες μειώνεται σταθερά. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνεται και από προηγούμενες μελέτες οι οποίες αναφέρουν πως τα διαλύματα με Fibersol-2 καθώς και ο κόκκινος χυμός φραγκόσυκου έχουν συμπεριφορά ψευδοπλαστικού ρευστού. Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις του ιξώδους του κόκκινου χυμού στη παρούσα έρευνα συμφωνούν με τους Sepulveda and Saenz (1990) οι οποίοι παρατήρησαν την συμπεριφορά του ιξώδους του ίδιου χυμού και αριθμητικά κυμαινόταν στα 119,2 mPa s. Το γεγονός ότι είναι μεγαλύτερη η τιμή από την μέτρηση της παρούσας εργασίας (76 mPa s) εξηγείται στο γεγονός ότι οι συγκεκριμένοι ερευνητές μέτρησαν πούλπα χυμού φραγκόσυκου χωρίς να έχει προηγηθεί η επεξεργασία φυγοκέντρισης. Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε είναι γνωστό ότι ο χυμός φραγκόσυκου διαθέτει χαμηλό μοριακό βάρος οπότε και το ιξώδες του αναμένεται να έχει χαμηλές τιμές οι οποίες και παρατηρήθηκαν πειραματικά.



Διάγραμμα 4.3. Ρεολογική συμπεριφορά κόκκινου χυμού φραγκόσυκου (εικόνα από λογισμικό ρεομέτρου)

Το ιξώδες αποτελεί μια παράμετρο η οποία εξαρτάται από το μοριακό βάρος του πολυμερούς, την συγκέντρωση και τον εφαρμοζόμενο διαλύτη. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, το ιξώδες του διαλύματος θα είναι μεγαλύτερο και αντίστροφα. Εάν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό, τα βιοενεργά συστατικά μπορεί να μην ενθυλακωθούν (Ghayempour and Mortazavi, 2013). Μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει το ιξώδες είναι το μοριακό βάρος του

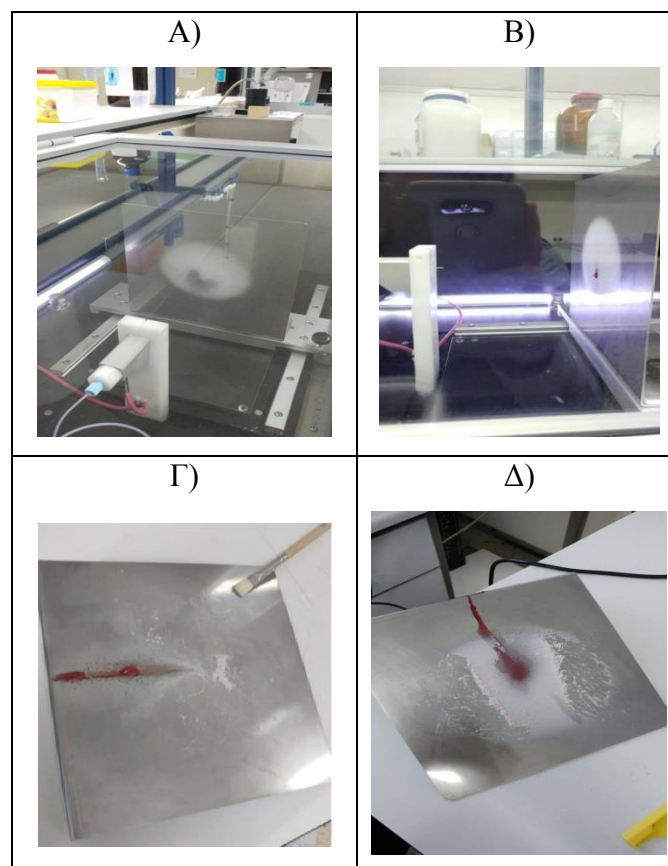
πολυμερούς που χρησιμοποιείται. Σε υψηλά μοριακά βάρη και συγκεντρώσεις θα σχηματιστούν πιο χοντρόκοκκα σωματίδια (Hazeri et al., 2012; Moghadam et al., 2008).

4.3. Διαδικασία ηλεκτροψεκασμού

Τα διαλύματα που παρασκευάστηκαν για τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού διέφεραν ως προς τις συγκεντρώσεις σε Fibersol-2 και στο ποσοστό αραίωσης του χυμού φραγκόσυκου. Έτσι δημιουργήθηκαν 8 δείγματα τα οποία περιείχαν από 25-45% Fibersol-2, με τα μισά από αυτά να περιέχουν αραιωμένη ποσότητα χυμού φραγκόσυκου. Οι μετρήσεις που έγιναν σε αυτά πριν τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού ήταν μετρήσεις που αφορούσαν στο pH, στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλλά και στο ιξώδες. Οι ιδιότητες αυτές αποτελούν παραμέτρους για τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού. Δηλαδή βάσει αυτών των ιδιοτήτων επιλέχθηκαν οι τιμές του ρυθμού ροής (flow-rate) του διαλύματος προς το ακροφύσιο του συστήματος και οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόστηκε σε αυτό (Voltage). Σκοπός ήταν να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων ώστε να δίνουν το καλύτερο αποτέλεσμα, πρώτον στον συλλέκτη και δεύτερον να έχουν παρασκευαστεί τα βέλτιστα σωματίδια ώστε να γίνει επιτυχής η ενσωμάτωση του βιοενεργού συστατικού. Για να θεωρηθεί επιτυχής η διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού θα πρέπει αφού έχουν εφαρμοστεί οι σωστές συνθήκες στο σύστημα να σχηματιστεί ο κώνος Taylor και στη συνέχεια να μην υπάρξουν ανομοιομορφίες κατά τη συλλογή του δείγματος στον συλλέκτη.

Ο ρυθμός ροής του διαλύματος στο σύστημα αναλόγως με το δείγμα ήταν στα 80-100μL/h, και το ηλεκτρικό πεδίο που εφαρμόστηκε στα 18-20kV. Κάθε διάλυμα διέφερε αρκετά ως προς το ιξώδες του, την ηλεκτρική αγωγιμότητα του, έτσι ήταν λογικό σε κάθε διαδικασία να ληφθούν διαφορετικές συνθήκες. Παρόλα αυτά για κάποια δείγματα δε βρέθηκε ο βέλτιστος συνδυασμός των συνθηκών ώστε να γίνει επιτυχής ο ηλεκτροψεκασμός ή το αποτέλεσμα πολλές φορές δεν ήταν ικανοποιητικό όσο με άλλα δείγματα. Στην περίπτωση των διαλυμάτων που περιείχαν 25% Fib2 το αποτέλεσμα στον συλλέκτη δεν ήταν το επιθυμητό, καθώς εμφανίζονταν στο τελικό δείγμα πολλές σταγόνες και περιοχές με ανομοιομορφίες. Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις δεν εμφανιζόταν καθόλου δείγμα στον συλλέκτη ή αυτό ήταν ελάχιστο. Αυτό έχει να κάνει με τον σχηματισμό του κώνου Taylor, δηλαδή σε κάποιες περιπτώσεις δεν σχηματιζόταν σωστά, ή και καθόλου. Μελέτες έχουν δείξει πως τα διαλυτά στερεά λόγω της δομής τους είναι πιθανό πολλές φορές να δημιουργήσουν ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα τη συσσωμάτωσή τους και συνεπώς την μη επιτυχή διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού (Nieuwland et al, 2013).

Πειραματικά αυτό επιβεβαιώθηκε όχι μόνο λόγω του ότι δεν ήταν πολλές φορές δυνατόν να σχηματιστεί σωστά ο κώνος Taylor αλλά και επειδή πολλές φορές το διάλυμα συγκεντρωνόταν μέσα στο σύστημα της σύριγγας με το ακροφύσιο και ήταν αδύνατο να γίνει η ώθησή λόγω της συσσωμάτωσης των διαλυτών στερεών με αποτέλεσμα να ξεραίνεται μέσα στο ακροφύσιο. Οι τιμές του pH των δειγμάτων fib2/χυμός είναι στο $4,56 \pm 0,2$ αναλόγως τη συγκέντρωση του Fibersol 2 στο διάλυμα και την αραιώση του χυμού. Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται κάποια δείγματα που προέρχονται από επιτυχείς και μη επιτυχείς διαδικασίες ηλεκτροψεκασμού. Στην εικόνα A ,B διακρίνονται τα δείγματα στο electrospinning που προέρχονται από διαλύματα που περιείχαν 35% Fibersol 2/ μη αραιωμένος χυμός και 45% Fibersol 2/αραιωμένος χυμός 1:2 αντίστοιχα. Στις εικόνες Γ και Δ είναι τα δείγματα από τα ηλεκτροψεκασμένα διαλύματα των εικόνων A και B αντίστοιχα με καλύτερα οπτικά αποτελέσματα της όλης διαδικασίας (παραγόμενη ποσότητα σκόνης).



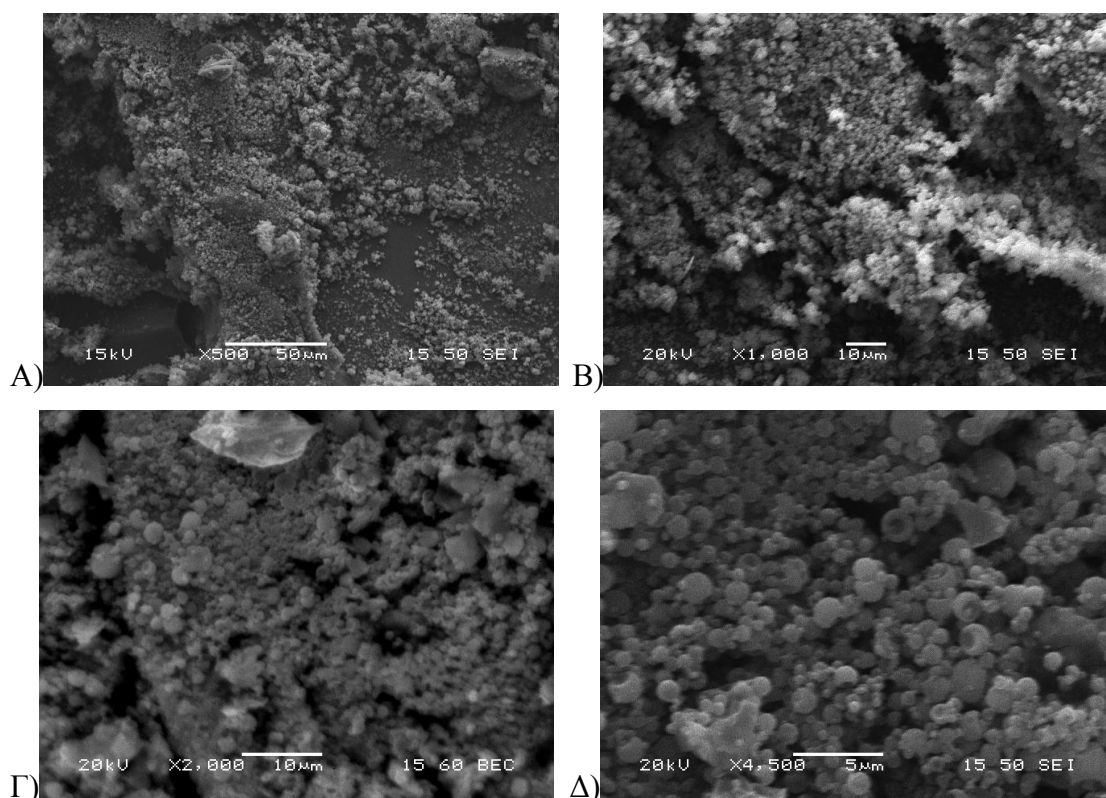
Εικόνα 4.1. Εικόνες δειγμάτων μετά τον ηλεκτροψεκασμό. [A],[Γ] 35% Fibersol-2 αραιωμένος χυμός 1:2, [B],[Δ] 40% Fibersol-2 μη αραιωμένος χυμός

4.4. Ιδιότητες παραγόμενων σωματιδίων

4.4.1. Μικροδομή σωματιδίων

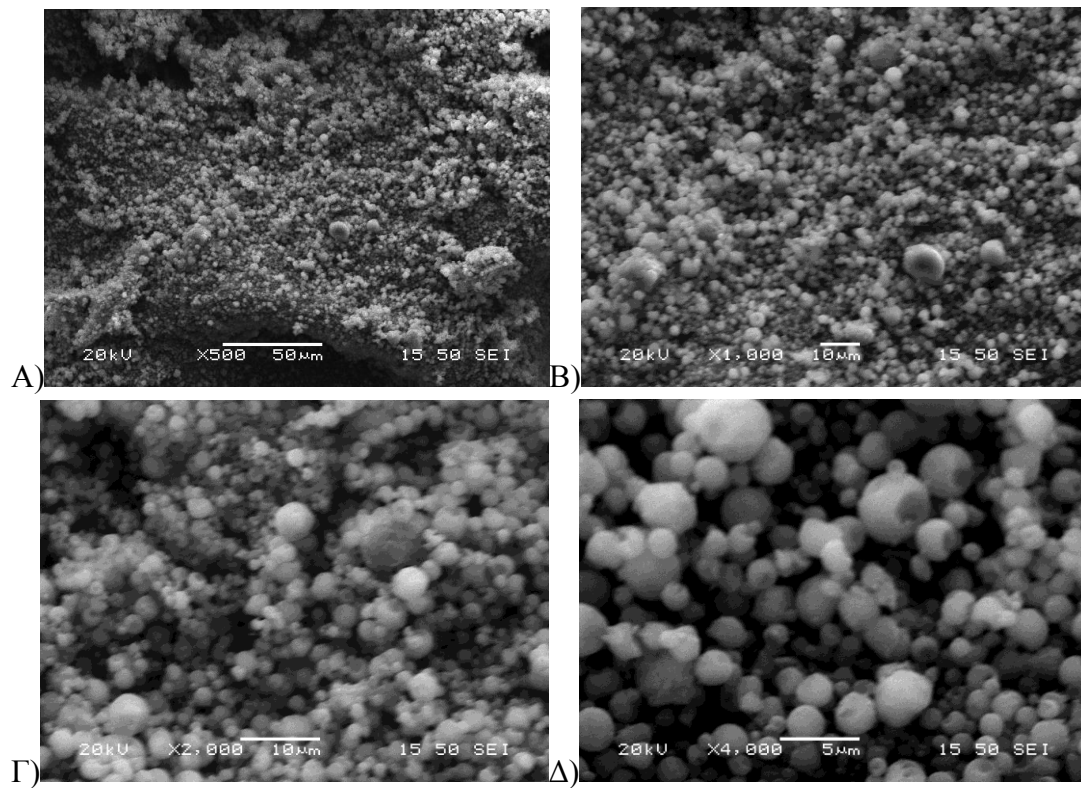
Η μικροδομή και το μέγεθος των σωματιδίων που παράγονται κατά τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού είναι δύο παράμετροι που παίζουν ρόλο στην επιτυχία της διαδικασίας αυτής. Οι μικροδομή και συγκεκριμένα το σχήμα των σωματιδίων σε όλα τα δείγματα ήταν σφαιρικό όπως φαίνεται και στις ενδεικτικές εικόνες που συλλέχθηκαν από το SEM. Για κάθε δείγμα παρατίθενται 4 εικόνες με διαφορετική μεγέθυνση για καλύτερη απεικόνιση του αποτελέσματος.

- Δείγμα 35% Fibersol-2 / χυμός



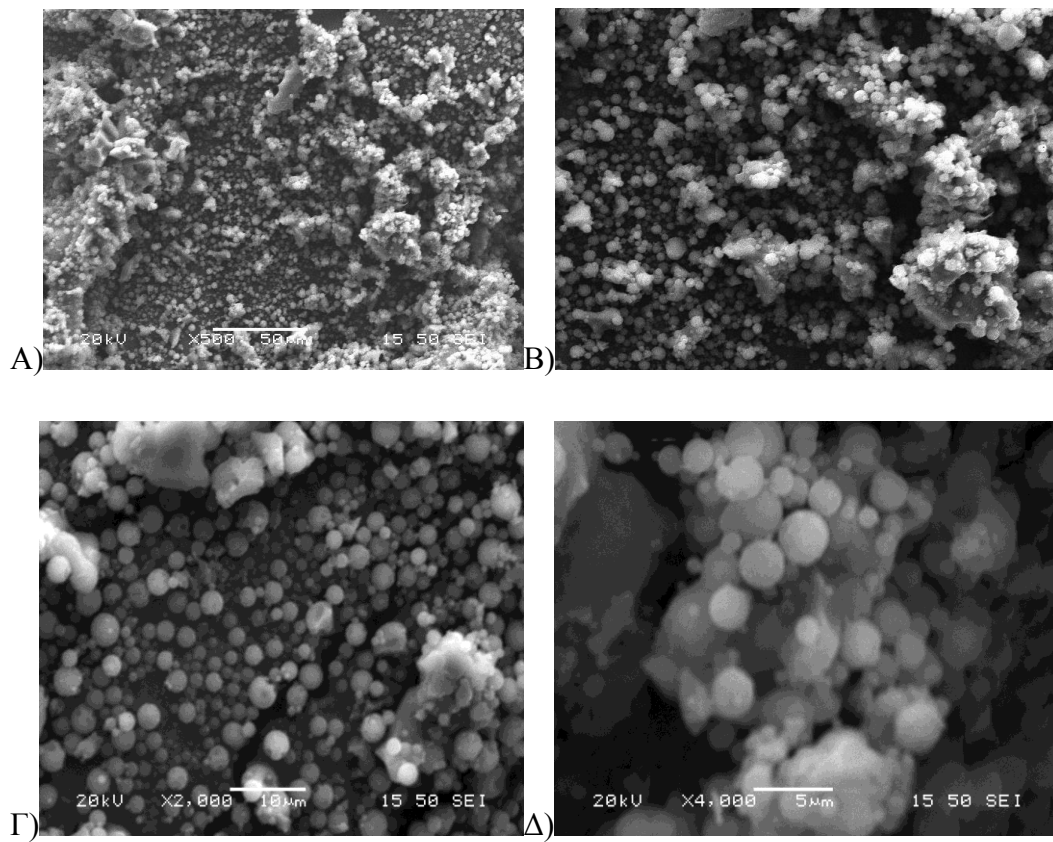
Εικόνα 4.2. Εικόνες δείγματος 35% Fibersol-2 / χυμός μετά τον ηλεκτροψεκασμό σε διαφορετικές μεγεθύνσεις A) μεγέθυνση x500, B) x1000, Γ) x2000, Δ) x4500

- Δείγμα 35% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2



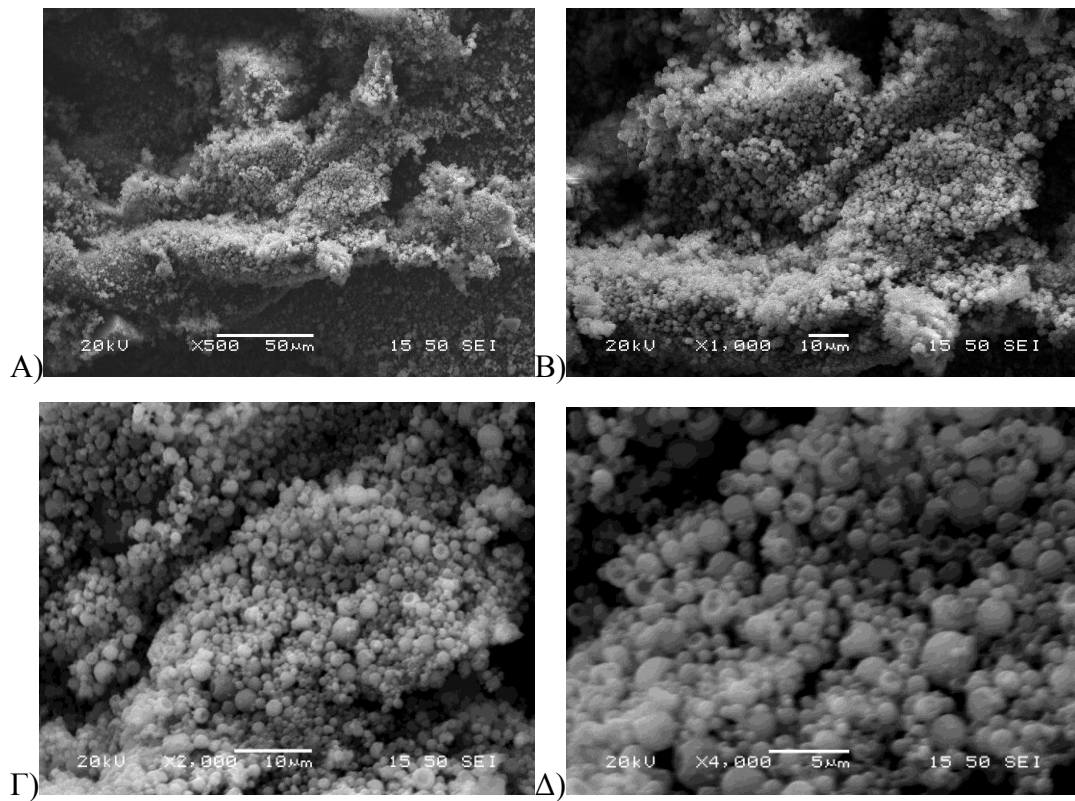
Εικόνα 4.3. Εικόνες δείγματος 35% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2 μετά τον ηλεκτροψεκασμό σε διαφορετικές μεγεθύνσεις A) μεγέθυνση x500, B) x1000, Γ) x2000, Δ) x4000

- Δείγμα 40% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2

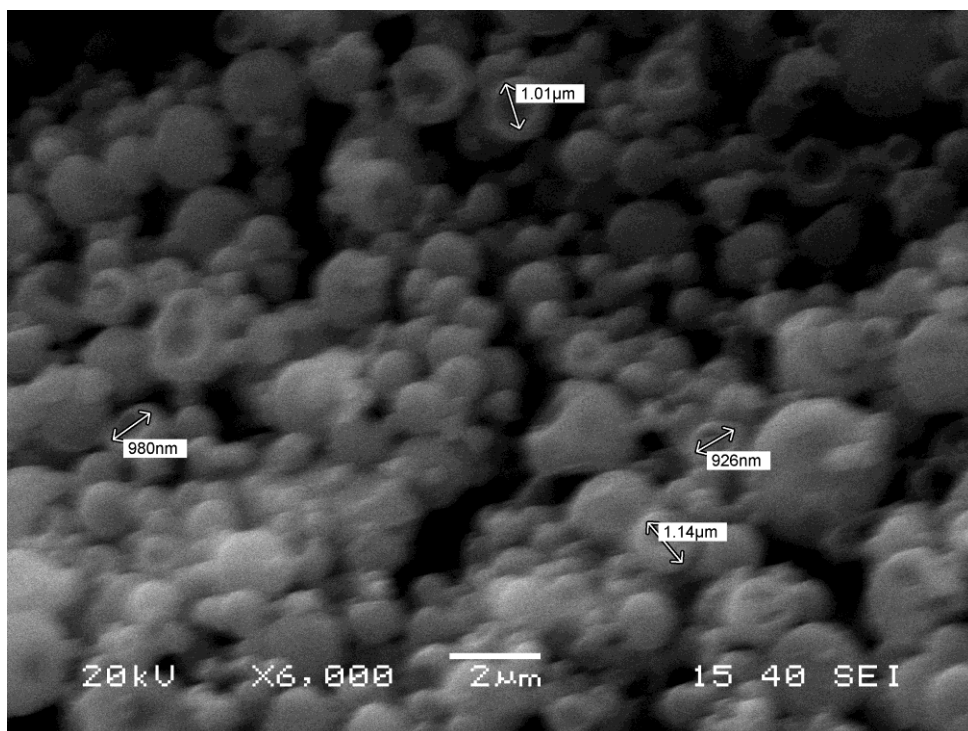


Εικόνα 4.4. Εικόνες δείγματος 40% Fibersol-2 / χυμός μετά τον ηλεκτροψεκασμό σε διαφορετικές μεγεθύνσεις Α) μεγέθυνση x500, Β) x1000, Γ) x2000, Δ) x4000

- Δείγμα 45% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2



Εικόνα 4.5. Εικόνες δείγματος 45% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2 μετά τον ηλεκτροψεκασμό σε διαφορετικές μεγεθύνσεις Α) μεγέθυνση x500, Β) x1000, Γ) x2000, Δ) x4000



Εικόνα 4.6. Μέγεθος κόκκων δείγματος 45% Fibersol-2 / χυμός αρ. 1:2

Σε πρώτη φάση παρατηρείται ότι τα μικροσωματίδια (της τάξης μικρομέτρων και νανομέτρων) που παράγονται από τον ηλεκτροψεκασμό είναι σφαιρικού σχήματος, χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου σύμφωνα με τους *Zotarelli et. al. (2017)* και σχηματίζουν συσσωματώματα, δηλαδή τα πρωτογενή σωματίδια συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγαλύτερα πορώδη σωματίδια με ακανόνιστο σχήμα. Επίσης, το μέγεθος των σωματιδίων είναι πολύ μικρότερο στα άλευρα που προέκυψαν από διαλύματα χαμηλότερης συγκέντρωσης Fibersol-2 σε σύγκριση με διαλύματα υψηλότερων συγκεντρώσεων.

Η συγκέντρωση του πολυμερούς αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην παραγωγή μικρο- και νάνο- σωματιδίων και είναι συνυφασμένη με το ιξώδες ενός διαλύματος. Ο *Khan et al. (2012)* πρότείνει τις εξής θέσεις για τον σχηματισμό μικρο/νανοσωματιδίων όσον αφορά την παράμετρο της συγκέντρωσης του φορέα ενθυλάκωσης στο διάλυμα.

- Υψηλή συγκέντρωση οδηγεί σε σχηματισμό μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων λόγω της συσσωμάτωσης, οπότε καθίσταται και πιο δύσκολη η υπέρβαση της επιφανειακής τάσης.
- Χαμηλή συγκέντρωση οδηγεί σε σχηματισμό μικρότερου μεγέθους σωματιδίων διότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις η επιφανειακή τάση του πολυμερούς μειώνεται πιο γρήγορα λόγω των ηλεκτροστατικών δυνάμεων που δημιουργούνται από την ασκούμενη τάση, πράγμα που καθιστά τα σωματίδια λιγότερο συσσωματωμένα (*Khan et al., 2012*).

Ο μέσος όρος της διαμέτρου των σωματιδίων κυμάνθηκε από τα 780 έως τα 1014 nm για τα δείγματα των διαφορετικών ποσοτήτων Fibersol-2. Πιο συγκεκριμένα η αύξηση της συγκέντρωσης του Fibersol-2 είχε σαν αποτέλεσμα και την αύξηση του μέσου όρου της διαμέτρου των σωματιδίων των δειγμάτων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1 πιο πάνω. Για παράδειγμα το δείγμα 35% Fibersol-2 είχε μέσο όρο διαμέτρου τα 796 nm ενώ το δείγμα 45% Fibersol-2 παρουσίασε μέσο όρο διαμέτρου στα 976 nm. Παρατηρήθηκε σε έρευνες πως το μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από τη συγκέντρωση του πολυμερούς (*Nandana Bhardwaj, Subhas Kundu, 2010*), δηλαδή όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του πολυμερούς τόσο μεγαλύτερο μέγεθος θα έχουν και τα σωματίδια του ηλεκτροψεκασμένου δείγματος και τόσο μεγαλύτερος θα είναι και ο δείκτης πολυδιασποσφοράς (PDI), (*Marysol Aceituno-Medina et al, 2013*)

4.5. Προσδιορισμός Φυσικών ιδιοτήτων αλεύρου από καρπό

Πίνακας 4.3. Φυσικές ιδιότητες δειγμάτων ηλεκτροψεκασμού

	35% Fib2/χυμός	40% Fib2/χυμός αρ. 1:2	45% Fib2/χυμός αρ. 1:2
a_w	0.39 ± 0.002	0.43 ± 0.001	0.45 ± 0.006
Υγρασία (%)	6.54 ± 0.30	6.41 ± 0.21	6.22 ± 0.06
<u>Χρώμα</u>			
L	87.76 ± 0.30	88.64 ± 0.45	88.46 ± 0.10
a	2.95 ± 0.03	3.22 ± 0.23	3.13 ± 0.02
b	6.84 ± 0.13	5.47 ± 0.11	6.56 ± 0.04

Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος \pm τυπική απόκλιση.



Εικόνα 4.7. Παραγόμενη ποσότητα αλεύρου καρπού από ηλεκτροψεκασμό

Η αύξηση του Fibersol 2 στα δείγματα του ηλεκτροψεκασμού παρατηρούμε ότι προκαλεί μία μικρή μείωση στην ενεργότητα νερού και την υγρασία, όπως συμβαίνει και σύμφωνα με τους Ruiz-Gutierrez *et. al.* (2014), οι οποίοι όμως χρησιμοποίησαν διαφορετικό βοηθητικό φορέα ξήρανσης και βρήκαν ότι με την αύξηση του φορέα, παρατηρείται μείωση του a_w και αύξηση

της πυκνότητας. Το ίδιο συμβαίνει σε άλευρο πεπονιού (*Quek et. al. 2007*) και ακτινίδιου (*Caliskan et. al. 2015*). Από τα αποτελέσματα προκύπτει επίσης ότι σύμφωνα με τις τιμές ενεργότητας νερού, τα δείγματα είναι σχετικά σταθερά μικροβιακά, ωστόσο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων που είναι πολύ υγροσκοπικά, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε τέτοιου είδους άλευρα στις συνθήκες αποθήκευσης τους.

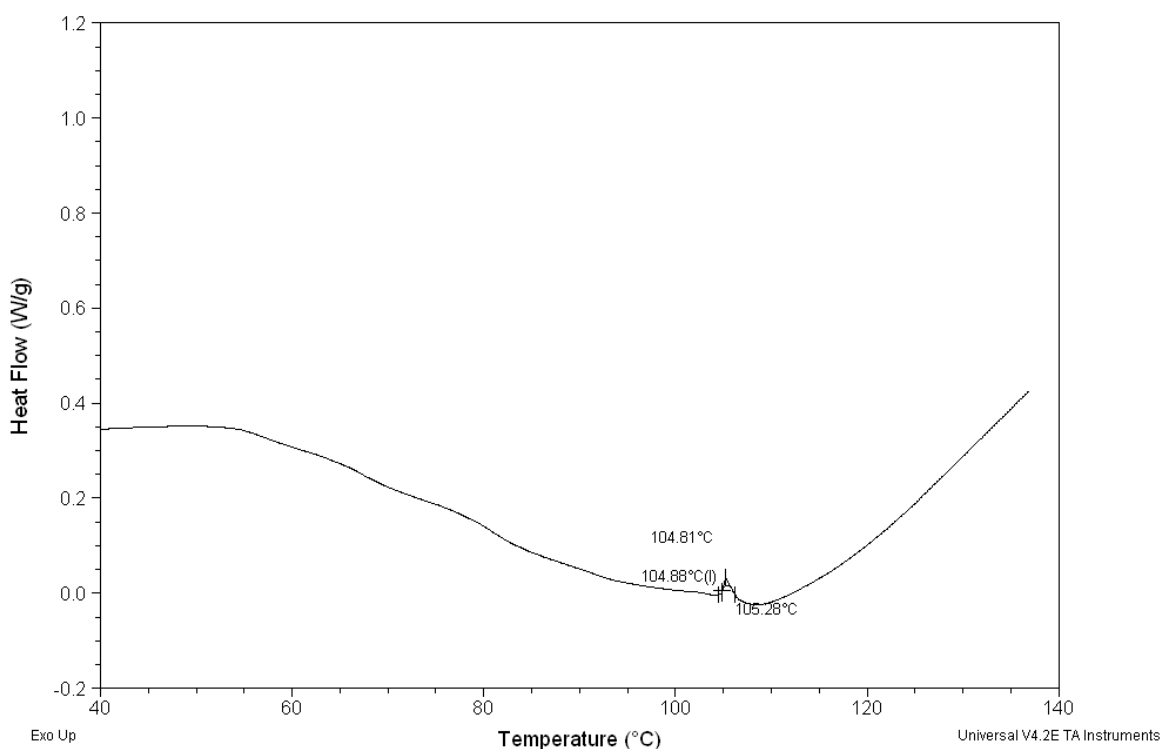
Το χρώμα βλέποντας τις τιμές L^* του πίνακα είναι λίγο πιο φωτεινό στο δείγμα των άλευρων 35% Fib2/χυμός, σε σχέση με τα δείγματα με παραπάνω συγκέντρωση Fibersol 2 και αραιωμένης ποσότητας χυμού, γεγονός που υποστηρίζεται από την ποσότητα χυμού που περιέχεται στα συγκεκριμένα δείγματα. Σε μελέτες που έχουν γίνει όμως στα αποτελέσματα του ανασυσταμένου χυμού, οι χρωστικές διατηρούνται, επομένως η τιμή της φωτεινότητας οφείλεται στο χρώμα του Fibersol 2 που είναι στην επιφάνεια και δημιουργεί το περίβλημα των κόκκων ($L= 98.05 \pm 0.04$, $a=0.17 \pm 0.05$, $b = 0.94 \pm 0.06$). Παρόλα αυτά και οπτικά τα δείγματα που παράχθηκαν έχουν σχεδόν λευκό-ροζ χρώμα και παρατηρούνται μικρές αισθητές χρωματικές διαφορές μεταξύ τους. Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι οι τιμές a^* είναι υψηλότερες στα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα Fibersol 2 και παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το χρώμα τους είναι πιο κοκκινωπό.

Στα υπό εξέταση δείγματα παρατηρείται επίσης ότι με την αύξηση του Fibersol 2, αυξάνονται η ενεργότητα νερού και η υγρασία, ενώ η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με τους *Oberoi et. al. (2015)* σε άλευρα πεπονιού και *Canuto et. al. (2014)* σε άλευρα παπάγιας, και μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ποσοστό άμορφων σακχάρων που έχουν υψηλή υγροσκοπιμότητα και έτσι απορροφούν περισσότερο ελεύθερο νερό.

Sample: fragkosuko
Size: 1.0000 mg
Method: fr

DSC

File: C:\...Desktop\DSC_IOULIA\fragkosyko
Operator: eytyxis
Run Date: 02-Apr-2018 12:50
Instrument: DSC Q100 V9.4 Build 287



Διάγραμμα 4.4. Θερμογράφημα DSC του άλευρου καρπού φραγκόσουκου με ηλεκτροψεκασμό

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών υαλώδους μετάπτωσης στο δείγμα 35% Fibersol 2/χυμός. Παρατηρείται ότι η τιμή Tg κυμαίνεται στους 104.81 °C, όπως είναι λογικό αφού το Fibersol 2 που χρησιμοποιήθηκε έχει θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης μεταξύ 141 και 160 °C (Wen-Ching Huang et al., 2016). Οπότε με την αύξηση της συγκέντρωσης Fibersol 2 αναμένεται αύξηση της τιμής Tg στην παραγόμενη σκόνη. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ενεργότητα νερού και η περιεκτικότητα σε υγρασία ενός υλικού, είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους *Welti-Chanes et. al. (1999)*, ισχύει ότι όσο αυξάνεται η ενεργότητα νερού, μειώνεται η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Ωστόσο, τα τρόφιμα είναι πολύπλοκα συστήματα που αποτελούνται από πολλά διαφορετικά συστατικά, το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να κατανοηθεί και να εκτιμηθεί πλήρως η συγκεκριμένη έννοια. Χαρακτηριστικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο καρπός του φραγκόσουκου αποτελείται κυρίως από σάκχαρα Γλυκόζης με Tg= 31 °C, Φρουκτόζης με Tg= 5 °C και Σουκρόζης με Tg= 62 °C

(Bhandari, 1999). Η προσθήκη του Fibersol 2 ως φορέα ενθυλάκωσης μεταξύ άλλων εξυπηρετεί και αυτόν τον σκοπό, δηλαδή να αυξήσει δηλαδή τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης ενός υλικού, καθώς εάν το υλικό υπερβαίνει τη θερμοκρασία αυτή, τότε δημιουργούνται προβλήματα κολλώδους κατάστασης και δημιουργούνται συσσωματώματα, επομένως η μαλτοδεξτρίνη συντελεί στη σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση της δημιουργίας νανοσωματιδίων μέσω της μεθόδου ηλεκτροψεκασμού για την αποτελεσματική ενθυλάκωση χρωστικών χυμού φραγκόσυκου έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και στη συνέχεια να χρησιμοποιούνται για πιθανή ενσωμάτωση σε άλλα τρόφιμα, όπως δημητριακά. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων αξιοποίησης του φυτού αυτού, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα διαφορετικών συνθηκών, και μάλιστα σε ξηρές περιοχές, όπως είναι το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Η παρασκευή νανοσωματιδίων καθώς και η ενθυλάκωση του χυμού φραγκόσυκου ήταν επιτυχής σε όλα τα δείγματα με ομοιόμορφο σχήμα σωματιδίων και αναμενόμενες διαφορές στο μέγεθός τους οι οποίες δεν απείχαν αρκετά μεταξύ τους.

Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα των φυσικών ιδιοτήτων του καρπού φραγκοσυκιάς συμφωνούν με αντίστοιχα αποτελέσματα στη βιβλιογραφία. Όπως παρατηρήθηκε, η μέθοδος ηλεκτροψεκασμού επηρέασε τις ιδιότητες των αφυδατωμένων προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα,

- Η ενεργότητα νερού και η υγρασία είναι αρκετά μικρή στα παραγόμενα άλευρα καρπού από αυτά αντίστοιχα άλευρα που παράγονται με διαφορετικές μεθόδους (π.χ. λυοφιλίωση). Πιο συγκεκριμένα σε ένα δείγμα 35% (fib2/χυμός) η ενεργότητα νερού πλησίασε την τιμή των 0,3 καθιστώντας αντιδράσεις αλλοίωσης ακόμα πιο δύσκολο να λάβουν μέρος στο παραγόμενο προϊόν. Τα παραγόμενα άλευρα έχουν υψηλή διατροφική αξία με μεγάλη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για υποκατάσταση άλλων πηγών φυτικών ινών.

- Για την παραγωγή άλευρων καρπού απαιτείται η απομάκρυνση των ινών και η προσθήκη φορέα ενθυλάκωσης όπως το Fibersol-2. Αυτό συντελεί στην παραγωγή προϊόντων όχι τόσο μεγάλης θρεπτικής αξίας, που όμως διατηρεί τη γεύση, το άρωμα και το χρώμα του φρούτου σε συνδυασμό με τις πρεβιοτικές και τις διαιτητικές ιδιότητες που προσδίδει το Fibersol-2.
- Η ενεργότητα νερού και η υγρασία δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στα παραγόμενα προϊόντα μεταξύ τους και όσον αφορά το χρώμα τους παρατηρείται μια ομοιογένεια σε όλα τα δείγματα που προέκυψαν από ηλεκτροψεκασμό (λευκό-ροζ με παρόμοιες τιμές L και a).
- Η συγκέντρωση του Fibersol-2 δεν φαίνεται να επηρεάζει τόσο σημαντικά τις φυσικές ιδιότητες των αλεύρων στην μέθοδο του ηλεκτροψεκασμού. Το ίδιο δεν συνέβη όμως όσον αφορά τις ιδιότητες των διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των δειγμάτων.

Η διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού ήταν ο καθοριστικός παράγοντας για τη σωστή επιλογή των διαλυμάτων τα οποία έδωσαν τα παραγόμενα άλευρα καρπού. Τα συστήματα με συγκεντρώσεις 45% και 40% fib2/χυμός αρ. 1:2 είχαν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τον ηλεκτροψεκασμό. Δηλαδή οι παράμετροι της διαδικασίας όπως ο ρυθμός ροής του διαλύματος στο σύστημα αλλά και το επιβαλλόμενο ηλεκτρικό φορτίο δεν είχαν ιδιαίτερες αποκλίσεις.

Μετά τη διαδικασία του ηλεκτροψεκασμού έγινε εξέταση των δειγμάτων με SEM. Τα δείγματα είχαν σφαιρική δομή και υπήρξαν διαφορές στα μεγέθη των σωματιδίων τα οποία όμως είχαν μέγεθος σε κλίμακα νανομέτρων.

Οι παραγόμενες ποσότητες σκόνης από τη μέθοδο του ηλεκτροψεκασμού ήταν αρκετά μικρές σε σύγκριση με την ποσότητα διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε (ενδεικτικά η ποσότητα διαλύματος ήταν στα 25ml και η παραγόμενη ποσότητα κυμαινόταν στα 0,05-0,1g για κάθε δείγμα) γεγονός που καθιστά την συγκεκριμένη πρακτική μη βιώσιμη ακόμη στην ένταξή της στη βιομηχανία τροφίμων (όσον αφορά την ενθυλάκωση χυμών). Το καλύτερο αποτέλεσμα οπτικά στον συλλέκτη (χωρίς ύπαρξη σταγόνων στη μέση) το είχε το δείγμα 45% Fib2/χυμός αρ. 1:2 το οποίο έδωσε έναν ομοιόμορφο κύκλο σκόνης και την μεγαλύτερη παραγόμενη ποσότητα (0,15g) από όλα τα υπόλοιπα δείγματα.

Η τεχνική του ηλεκτροψεκασμού και οι παράμετροι που την απαρτίζουν στο σύνολό της θεωρείται μια νέα και υποσχόμενη προσέγγιση για την κατασκευή μικρο και νάνο σωματιδίων. Η συγκεκριμένη τεχνική εκτελείται σε ένα μόνο στάδιο χωρίς οποιαδήποτε παραγωγή αποβλήτων. Μέσω του ελέγχου διαφόρων παραμέτρων που απαρτίζουν την διαδικασία (εξοπλισμός, διαλύματα και περιβαλλοντικές συνθήκες), επιτυγχάνεται η παραγωγή επιθυμητού μεγέθους σωματιδίων για την εφαρμογή τους σε ορισμένη διεργασία. Ο ηλεκτροψεκασμός μπορεί να εφαρμοστεί στην βιομηχανία τροφίμων ως διάφορες πρακτικές όπως στην συσκευασία τροφίμων, σε εδώδιμες μεμβράνες, στην ενθυλάκωση βιοενεργών συστατικών και στην ανάδειξη των οργανοληπτικών τους ιδιοτήτων.

Πίνακας 5.1. Συνοπτική παρουσίαση δειγμάτων και χαρακτηριστικών τους μετά τον ηλεκτροψεκασμό τους.

Ποσότητα Fibersol-2	Αραίωση Χυμού	Ιξώδες	Αγωγιμότητα	Παραγόμενη ποσότητα	Σωματίδια	Χαρακτηριστικά
35%	-	Χαμηλό	Χαμηλή	Μικρή	Νάνο	Ίνες, σωματίδια και σταγόνες χυμού
35%	1:2	Χαμηλό	Χαμηλή	Ικανοποιητική	Νάνο	Σωματίδια και σταγόνες χυμού
40%	1:2	Χαμηλό	Υψηλή	Μεγάλη	Νάνο Μίκρο	Σωματίδια και απουσία σταγονιδίων
45%	1:2	Χαμηλό	Υψηλή	Ικανοποιητική	Μίκρο	Σωματίδια και σταγόνες χυμού

6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αν και ο ηλεκτροψεκασμός έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στο εργαστήριο την τελευταία δεκαετία, εξακολουθούν να υφίστανται εμπόδια που περιορίζουν την εφαρμογή του στη βιομηχανία τροφίμων. Ο κύριος περιορισμός του είναι η χαμηλή απόδοση που παρέχει, η οποία περιορίζει την μεγάλης κλίμακας του εμπορική εκμετάλλευση. Έτσι ένας σημαντικός τομέας έρευνας πλέον έγκειται στην τροποποίηση/βελτίωση δομικών χαρακτηριστικών της διαδικασίας (π.χ. διάταξη πολλαπλών βελόνων κ.α). Στη συνέχεια η επιτυχής ενθυλάκωση μέσω του ηλεκτροψεκασμού αποτελεί πρόκληση λόγω της πληθώρας των πολυμερών, των πειραματικών συνθηκών και των ενώσεων που είναι διαθέσιμα προς χρήση και πρέπει να συνδυαστούν κατάλληλα υπερβαίνοντας τις δυσκολίες που αποφέρει το καθένα ξεχωριστά στην συγκεκριμένη διεργασία.

Όσον αφορά την ασφάλεια των τροφίμων, ένας λόγος για τον οποίο τα νανοσωματίδια δεν έχουν υιοθετηθεί ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων μπορεί να αποδοθεί στον επιπολασμό των μελετών σε συνθετικά πολυμερή και όχι σε βιοπολυμερή. Ερωτήσεις σχετικά με την κατανάλωση τροφίμων νανο-κλίμακας εξακολουθούν να παραμένουν και πρέπει να αναλυθούν περαιτέρω, όπως και οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Νομοθεσία των κυβερνητικών υπηρεσιών σχετικά με την αίτηση των νανοϋλικών στη βιομηχανία τροφίμων είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση των προϊόντων νανο-τροφίμων.

Χρειάζεται μελλοντική έρευνα στην ενσωμάτωση βιοενεργών συστατικών, ώστε να επιτευχθεί μια πιο αποτελεσματική ενσωμάτωση τους, αλλάζοντας τις αναλογίες των βιοπολυμερών που αποτελούν το προστατευτικό υλικό τους ή τη προσθήκη ίσως κάποιου άλλου συστατικού.

Η χρήση και η τροποποίηση του ομοαξονικού συστήματος ηλεκτροψεκασμού με άλλες τεχνολογίες, όπως λιποσώματα, νανοσωματίδια κλπ., μπορεί να πραγματοποιηθεί με σκοπό τη διεύρυνση των δυνατοτήτων για τη βελτίωση των νέων προϊόντων. Επιπλέον, συνεργασίες μεταξύ ερευνητών και κατασκευαστών καθώς και η αναγωγή της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε βιομηχανική κλίμακα αποτελεί μια υποσχόμενη προοπτική στην ένταξή της στη βιομηχανία τροφίμων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barbosa-Canovas** G.V., Ortega-Rivas E., Juliano P., Hong Y. (2005). Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality. pp: 217. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Barbosa-Canovas** G.V., Vega-Mercado H. (1996)., Dehydration of Foods. Introduction to Dehydration of Food: Dryers. pp: 4-6. International Thompson Publishing.
- Bhandari**, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.
- Bhushani J. A and Anandharamakrishnan C**, (2014). Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications, *Trends in Food Science & Technology*, 38, 21-33.
- Bock N**, T.R. Dargaville, M.A. Woodruff, (2012). Electrospraying of polymers with therapeutic molecules: State of the art, *Progress in Polymer Science* , 37, 1510– 1551.
- C. Saunz**, S. Tapia, J. Chávez, P. Robert (2008). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 616-622.
- C. Vergara**, J. Saavedra, C. Saenz , P. Garcia, P. Robert (2013). Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. *Food Chemistry*, 246-251.
- C.M. Librán** , S. Castro , J.M. Lagaronb. Encapsulation by electrospray coating atomization of probiotic strains. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 216-222.
- Daubert C. R. and Foegeding E. A.**, (2010). Rheological Principles for Food Doshi Jayesh, Darrell H. Reneker, (1995). Electrospinning process and applications of electrospun fibers, *Journal of Electrostatics*, 35, 151-160.
- Duru**, B., & Turker, N. (2005). Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 7, 22-33.

- El Kossori**, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 52(3), 263-270.
- F.G. Herrero**, J. Cabanes, J. Escribano, F.G. Carmona, and M.J. nez-Atié´nzar. Encapsulation of the Most Potent Antioxidant Betalains in Edible Matrixes as Powders of Different Colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4294-4302.
- Fang**, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510-523.
- FAO 2013**. Agro-industrial utilization of cactus pear. Food and agriculture organization of the united nations Rome, 2013.
- Fernandes**, F. A., Rodrigues, S., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2011). Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 163-185.
- Ferreira**, Rocha S., Gomes J., Pereira M., Coelho M., (2008). Encapsulation of Antioxidants by Spray Drying, AIDIC Conference Series Vol.8 (REED BUSINESS INTERNATIONAL copyright) (2008) 119.
- Feugang**, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front Biosci*, 11(1), 2574-2589.
- Foegeding E.A & Davis J.P**, (2011). Food protein functionality: A comprehensive approach, *Food Hydrocolloids*, 25, 1853-1864.
- Frenot A.**, Chronakis I.S., (2003). Polymer nanofibers assembled by electrospinning, *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, 64–75.
- Gandía-Herrero**, F., Jiménez-Atiéndzar, M., Cabanes, J., García-Carmona, F., & Escribano, J. (2010). Stabilization of the bioactive pigment of *Opuntia* fruits through maltodextrin encapsulation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(19), 10646-10652.
- Guevara-Figueroa**, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., ... & de la Rosa, A. P. B. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525-532.

- Hernández-Urbiola**, M. I., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1287-1295.
- Jaworek A.**, Sobczyk A. T., (2008). Electrospraying route to nanotechnology: An overview, *Journal of Electrostatics*, 66, 197–219
- M Jimenez-Aguilar**, D., Mújica-Paz, H., & Welte-Chanes, J. (2014). Phytochemical characterization of prickly pear (*Opuntia* spp.) and of its nutritional and functional properties: a review. *Current Nutrition & Food Science*, 10(1), 57-69.
- Martha G**, Ruiz-Gutiérrez, Carlos A. Amaya-Guerra, Armando Quintero-Ramos, Esther Pérez-Carrillo and Carmen O. Meléndez-Pizarro. Use of Red Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) Encapsulated Powder to Pigment Extruded Cereal.
- Medina**, E. D., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food chemistry*, 103(1), 38-45.
- Moßhammer**, M. R., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): a review of processing technologies and current uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 8, 1-25.
- N. Bhardwaj**, S. C. Kundu (2009). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 325-347.
- Nassar**, A. G. (2008). Chemical composition and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) seeds flour and protein concentrate. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 3(1), 11-16.
- Oberoi**, D. P. S., & Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178.
- Otálora**, M. C., Carriazo, J. G., Iturriaga, L., Nazareno, M. A., & Osorio, C. (2015). Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food chemistry*, 187, 174-181.

- P. Robert**, V. Torres, P. García, C. Vergara, C. S_aenz (2014). The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT - Food Science and Technology*, 1039-1045.
- P. Wena**, M.Zonga, R. J. Linhardt, K. Fenga, H. Wu (2017). Electrospinning: A novel nano-encapsulation approach for bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 56-67.
- Peanparkdee**, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4, 56-65.
- R.C. Mu~noz** , Blanca E. B.an-Huerta, J. Y~nez-Fern_andez (2014). Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT - Food Science and Technology*, 242-248.
- S. M.Jafari**, (2017). Ch. 9 Nanocapsule formation by electrospraying, Nanoencapsulation technologies for the Food and the Nutraceutical Industries. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 320-345.
- Wen-Ching Huang**, Che-Li Lin, Yi-Ju Hsu, Yen-Shuo Chiu, Yi-Ming Chen, Ming-Fang Wu, Chi-Chang Huang, and Ming-Fu Wang. Inulin and Fibersol-2 Combined Have Hypolipidemic Effects on High Cholesterol Diet-Induced Hyperlipidemia in Hamsters.
- Wongsasulak S.**, Kit K.M., McClements D. J., Yoovidhya T., Weiss J., (2007). The effect of solution properties on the morphology of ultrafine electrospun egg albumene/PEO composite fibers, *Polymer*, 48, 448-457.
- Y. Pais**, (2011). University of South Florida. Ch.4 Electrospinning nanofibers, Fabrication and Characterization of Electrospun Cactus Mucilage Nanofibers, 13-19.
- Z. Jia**, M. Dumont n, V. Orsat (2016). Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Bioscience*, 87-104.