



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΛΜΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ
ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΞΗΡΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
GOJI BERRY**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΛΚΙΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΤΑΟΥΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Πέτρο Ταούκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του και την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε όλον αυτόν το χρόνο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους διδάκτορες Έφη Δερμεσονλούογλου και Γιώργο Κατσαρό, για τη συνεργασία και τις ιδιαίτερα χρήσιμες συμβουλές όσον αφορά στην πειραματική διαδικασία, αλλά και για τη συνεχή υποστήριξή τους.

Θα ήθελα επιπρόσθετα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Δημόπουλο και τις διδάκτορες Βιργινία Γιάννου και Ελένη Γώγου, καθώς μου προσέφεραν τη βοήθειά και τις συμβουλές τους, με αποτέλεσμα την επιτυχή ολοκλήρωση των πειραμάτων μου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, για την άψογη συνεργασία και το φιλικό περιβάλλον που δημιούργησαν σε όλη την περίοδο παραμονής μου στο εργαστήριο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου Άννα Σπηλιοπούλου και Κωνσταντίνο Κωβαίο τόσο για την πολύτιμη βοήθεια, όσο και για την ψυχολογική στήριξη που μου προσέφεραν το διάστημα αυτό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου και λοιπούς φίλους που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Χαλκιά Κατερίνα,
Αθήνα, Ιούλιος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η επιστημονική θεώρηση της ορθής διατροφής εστιάζει μεταξύ άλλων και στην αυξημένη κατανάλωση τροφών φυτικής προέλευσης, όπως φρούτων και λαχανικών, οι οποίες έχουν ευεργετικά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία και ευεξία. Δίνεται μάλιστα έμφαση σε τροφές με πλούσιες σε βιοδραστικά συστατικά όπως αντιοξειδωτικές ουσίες, ουσίες που ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα, αντιυπερτασικές κ.α.. Σε αυτές τις τροφές συγκαταλέγεται το goji berry, ένα βασικό συστατικό της κινέζικης διατροφής, που πλέον είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στην Ευρώπη και στην Αμερική. Ο καρπός του goji berry είναι ιδιαίτερα γνωστός για τις ευεργετικές του για την υγεία ιδιότητες. Έχουν γίνει μελέτες για την αντικαρκινική δράση, την αντιδιαβητική δράση και την αντιγηραντική δράση. Συνήθως καταναλώνεται αποξηραμένος. Η κύρια μέθοδος παραγωγής των αποξηραμένων goji berries είναι η ξήρανση στον ήλιο, η οποία πολλές φορές έχει ως αποτέλεσμα την ποιοτική και θρεπτική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της επίδρασης εναλλακτικών μεθόδων προ – επεξεργασίας, όπως είναι η ωσμωτική αφυδάτωση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF), για την παραγωγή ξηρών προϊόντων goji berry. Οι δύο μέθοδοι αποτελούν προ - στάδιο της ξήρανσης με θερμό αέρα, και εφαρμόζονται τόσο μεμονωμένα, όσο και σε συνδυασμό, με στόχο τη δημιουργία ενός βελτιωμένου τελικού προϊόντος σε μικρότερο χρόνο ξήρανσης. Με την ωσμωτική αφυδάτωση είναι δυνατή η παραγωγή ενός προϊόντος μέσης υγρασίας με βελτιωμένα οργανοληπτικά και θρεπτικά συστατικά, το οποίο δίνει την εντύπωση του φρέσκου τροφίμου. Παράλληλα, παρεμποδίζονται οι ενζυμικές και μικροβιακές δράσεις που λαμβάνουν χώρα στα φρέσκα τρόφιμα και οδηγούν στην αλλοίωσή του. Η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων βοηθά στην αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης των φρούτων και των λαχανικών, μέσω του φαινομένου της ηλεκτροδιάτρησης, ενισχύοντας έτσι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε διαδικασίες όπως η ωσμωτική αφυδάτωση και η ξήρανση με θερμό αέρα.

Στην πρώτη θεματική ενότητα των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση (υπό ανάδευση) σε κατεψυγμένο – αποψυγμένο (freeze – thawed) δείγμα ελληνικού goji berry (*L. barbarum*). Η σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος ήταν 60% γλυκερόλη, 20% μαλτοδεξτρίνη, 2% ασκορβικό οξύ και 1% χλωριούχο νάτριο (κατά βάρος) με αναλογία βάρους ωσμωτικού διαλύματος προς τροφίμου 5:1. Η διαδικασία διήρκησε μέχρι και 180 min και πραγματοποιήθηκε σε τρεις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C. Τα μεγέθη που εξετάστηκαν ήταν η απώλεια νερού (WL), η πρόσληψη στερεών (SG), η ενεργότητα νερού (a_w), καθώς και βασικοί ποιοτικοί δείκτες (χρώμα, αντιοξειδωτική ικανότητα και συνολική φαινολική περιεκτικότητα). Οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού και πρόσληψης στερεών (D_m και D_s) προσδιορίστηκαν σύμφωνα με το 2^ο νόμο του Fick με κατάλληλες παραδοχές για εφαρμογή σε σφαίρα. Η εξάρτηση των δραστικών συντελεστών από τη θερμοκρασία εκφράστηκε από μαθηματική

εξίσωση τύπου Arrhenius. Για τα δείγματα που είχαν ωσμο – αφυδατωθεί για 60 min, καθώς και για ανεπεξέργαστα δείγματα, ακολούθησε ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C. Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προ – κατεργασία, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης (k_d), που είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ξήρανσης κατά 28,6%. Η ωσμωτική αφυδάτωση είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή τελικού ξηρού προϊόντος goji berry με καλύτερο χρώμα, συγκριτικά με το τελικό ανεπεξέργαστο δείγμα, και αυξημένη αντιοξειδωτική ικανότητα και συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες, συγκριτικά με το αρχικό αποψυγμένο δείγμα. Η πρώτη ενότητα ολοκληρώνεται με τη μελέτη διατηρησιμότητας του τελικού ξηρού προϊόντος goji berry με $a_w = 0,50$, το οποίο είχε ωσμο – αφυδατωθεί στους 55 °C για 60 min, και ανεπεξέργαστου τελικού ξηρού προϊόντος. Τα προϊόντα αποθηκεύτηκαν σε σταθερές θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C (κατά τη μεθοδολογία Επιταχυνόμενων Δοκιμών Διατηρησιμότητας ASLT) και ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής έγινε σύμφωνα με οργανοληπτικό έλεγχο (χρώμα, γεύση, υφή και συνολική εντύπωση, όριο αποδοχής: 5/9), το χρώμα (οριακή τιμή $\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}}$: 0,3), την αντιοξειδωτική ικανότητα και τη συνολική περιεκτικότητα των φαινόλων (όριο απώλειας: 50% του αρχικού περιεχομένου). Οι ρυθμοί υποβάθμισης των δεικτών ποιότητας ακολούθησαν κινητική πρώτης τάξης. Καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής τόσο των επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση όσο και των ανεπεξέργαστων προϊόντων ήταν η συνολική εντύπωση. Η διάρκεια ζωής των επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση και των ανεπεξέργαστων προϊόντων υπολογίστηκε ως 99 και 206 ημέρες αντίστοιχα, στη θερμοκρασία αναφοράς 25 °C.

Στη δεύτερη θεματική ενότητα, σε φρέσκο ελληνικό goji berry εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) σταθερής έντασης 2,8 kV/cm και εξετάσθηκε η επίδραση του αριθμού των παλμών (750, 1500 και 7500 παλμοί). Η μέγιστη κυτταρική διάρρηξη πραγματοποιήθηκε σε freeze – thawed δείγμα καθώς και σε δείγμα που είχε υποστεί PEF έντασης 2,8 kV/cm και 7500 παλμών ($Z_p = 0,38$). Τα επεξεργασμένα δείγματα ωσμο – αφυδατώθηκαν (υπό τις ίδιες συνθήκες που αναφέρθηκαν στην πρώτη θεματική ενότητα) στους 55 °C, από 15 – 180 min, όπου διαπιστώθηκε ότι μέσω της ηλεκτοδιάτρησης με PEF επετεύχθη αύξηση των φαινομένων μεταφοράς μάζας (απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών) κατά τη διαδικασία της ώσμωσης. Τα PEF – επεξεργασμένα δείγματα παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές των δραστικών συντελεστών διάχυσης, D_m και D_s , συγκριτικά με τα φρέσκα goji berries. Η σχέση που περιγράφει την επίδραση των παλμών στους συντελεστές διάχυσης ήταν $\rho = c_1 \ln D_{m,s} + c_2$. Έπειτα, ακολούθησε ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C των PEF – επεξεργασμένων δειγμάτων (750, 1500 και 7500 παλμοί), PEF – επεξεργασμένων και ωσμο – αφυδατωμένων δειγμάτων και ανεπεξέργαστων δειγμάτων. Η μεγαλύτερη τιμή σταθεράς ρυθμού ξήρανσης (k_d), και άρα και ο μικρότερος χρόνος ξήρανσης, επετεύχθη για τα δείγματα goji berry που προ – επεξεργάστηκαν με συνδυασμό των μεθόδων των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία ο χρόνος ξήρανσης μειώθηκε κατά προσέγγιση 11% ενώ με το συνδυασμό των δύο μεθόδων κατά 44%. Ο συνδυασμός των μεθόδων οδήγησε σε ξηρό τελικό

προϊόν με καλύτερο χρώμα, υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα και φαινολική περιεκτικότητα, σε σχέση με τα τελικά προϊόντα της ξήρανσης που προ – επεξεργάστηκαν μόνο με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και το ανεπεξέργαστο δείγμα.

Συμπερασματικά, η ωσμωτική αφυδάτωση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι αποτελεσματικές μέθοδοι προ – κατεργασίας στον τομέα της ξήρανσης των τροφίμων. Η μεμονωμένη εφαρμογή, αλλά πολύ περισσότερο ο συνδυασμός τους ως προ – κατεργασία οδηγεί στην παραγωγή ξηρού τελικού προϊόντος καλύτερης ποιότητας, ενώ παράλληλα μειώνεται ο χρόνος της ξήρανσης και το ενεργειακό κόστος.

Study of pulsed electric fields (PEF) and osmotic dehydration (OD) as pretreatments for the production of dried goji berry products

In recent years, the scientific consideration of proper nutrition focuses among others to increase plant food consumption, particularly fruits and vegetables, which have beneficial effects on human health and wellbeing. Especially, emphasis is given in foods rich in bioactive compounds, such as antioxidant compounds, compounds that strengthen the immune system, antihypertensive compounds etc. Goji berries, a key ingredient of Chinese diet, are becoming very popular in Europe and America because of their beneficial properties in human health. Studies have been occurred for the anti - tumor activity, the anti-diabetic and anti-aging activity. They are usually consumed dried. Dried goji berries are mainly produced by sun drying often resulting in quality loss of the final product.

The aim of diploma thesis is to study two novel processing methods, osmotic dehydration (OD) and pulsed electric fields (PEF), as pretreatments of goji berry drying. These methods are applied before air drying, both individually and in combination, to develop an improved goji berry product in less time. With the application of the osmotic dehydration, it is possible to produce an intermediate moisture product having better organoleptic and nutritional characteristics, similar to fresh food characteristics. Pulsed electric fields technology aims in cell membrane disruption of fruits and vegetables by means of electroporation enhancing mass transfer phenomena in processes such as osmotic dehydration and hot air drying.

In the first part of the study, the effect of osmotic pretreatment on Greek freeze - thawed goji berries (*L. barbarum*) was examined. The composition of the osmotic solution was 60% glycerol, 20% maltodextrin, 2% ascorbic acid and 1% sodium chloride (weight basis), with a solution to food ratio 5:1 (weight to weight). OD process was monitored up to 180 min for three temperatures 45, 55 and 65 °C. The examined parameters were water loss (WL), solid gain (SG), water activity (a_w) and important quality parameters (color, antioxidant activity and total phenolic content). The effective diffusion coefficients for water and solids (D_m and D_s) were estimated by applying Fick's 2nd law with the appropriate assumptions for spherical shape. Temperature dependence of the effective coefficients was expressed by an Arrhenius – type mathematical model. The osmotically dehydrated at 55°C for 60 min as well as non - dehydrated goji berries, were hot air dried at 60 °C. The osmotic pre – treatment increased the drying rate constant (k_d), and decreased the drying time by 28,6%. The osmotic dehydration resulted in the production of a final dried goji berry product with improved color as compared to the final product, and higher antioxidant capacity and total phenolic content, compared to the freeze – thawed sample. The first part was completed with the shelf life study of the developed dried goji berry product, osmo - dehydrated at 55 °C 60 min and non – treated (a_w of the final product 0,50). Samples were stored at constant temperatures 25, 35 and 45 °C (based on ASLT methodology) and the shelf life was calculated according to sensory testing (color, flavor, texture and overall impression, acceptance limit: 5/9, color $\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}}$ limit value: 0,3, antioxidant capacity and total phenolic content: 50% loss of the initial value). The degradation rates of the quality indicators followed first-order kinetics. The shelf life determining factor for both OD – treated and non – treated goji berry samples was the overall impression (sensorially perceived). The shelf life of OD

and non - treated goji berry samples was calculated as 99 and 206 days, respectively, at the reference temperature of 25 °C.

In the second part, fresh Greek goji berries were treated with pulsed electric fields (PEF) of 2,8 kV/cm intensity and 750, 1500 and 7500 pulses. The maximum cell disruption was calculated for freeze - thawed and PEF – treated (7500 pulses) samples ($Z_p = 0,38$). PEF – treated samples were osmotically dehydrated (as in Part 1) at 55°C for 15 - 180 min. These samples presented increased mass transfer (water loss and solid gain) during OD leading to higher values of effective diffusion coefficients, D_m and D_s , compared to OD of fresh goji berries. The mathematical model that describes the effect of pulse number on the diffusion coefficients was, $p = c_1 \ln D_{m, s} + c_2$. Then, PEF – treated (750, 1500, 7500 pulses), PEF – treated osmotically dehydrated and non pre – dehydrated samples were further dried (hot air drying) at 60 °C. Increase of drying rate constant (k_d) and decrease of drying time were achieved for pre - treated with the combination of pulsed electric fields and osmotic dehydration samples. The drying time decreased approximately 11% with the application of PEF pretreatment, and 44% with the application of PEF and OD pretreatments. The combination of the processing methods led to a dried goji berry product with better color, higher antioxidant capacity and total phenolic content, compared to the product pretreated only with pulsed electrical fields and the non – treated one.

To conclude, the osmotic dehydration and pulsed electric fields are effective methods of preprocessing in food drying. The application of osmotic dehydration and pulsed electric fields (combined or not) can lead to the production of dried products with improved quality characteristics, while reducing drying time and energy costs.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
Study of pulsed electric fields (PEF) and osmotic dehydration (OD) as pretreatments for the production of dried goji berry products	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ GOJI BERRY	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Προέλευση και Άλλα Χαρακτηριστικά	2
1.3 Χημική Σύσταση του Goji Berry (<i>L. barbarum</i>).....	4
1.4 Goji Berry και Οφέλη στην Υγεία.....	5
1.5 Τα Προϊόντα Goji στην Αγορά Τροφίμων.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ	9
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Μηχανισμός της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	10
2.3 Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης στη Βιομηχανία Τροφίμων	11
2.3.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης.....	11
2.3.2 Προβλήματα κατά την Εφαρμογή στη Βιομηχανία	13
2.4 Διάθεση των Προϊόντων της Ωσμωτικής αφυδάτωσης στο Εμπόριο.....	14
2.5 Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση	15
2.5.1 Παράμετροι που Σχετίζονται με τα Χαρακτηριστικά της Πρώτης Ύλης	15
2.5.2 Παράμετροι που Σχετίζονται με τη Διεργασία	16
2.6 Μαθηματική Προσομοίωση της Μεταφοράς Μάζας	19
2.7 Νέες Εξελιξίσεις στην Ωσμωτική Αφυδάτωση	20
2.7.1 Εναλλακτικά Ωσμωτικά Μέσα και Διαλύματα	20
2.7.2 Εφαρμογή Καινοτόμων Μεθόδων Επεξεργασίας Συνδυασμένες με την Ωσμωτική Αφυδάτωση	21
2.8 Η Ωσμωτική Αφυδάτωση ως προ – Κατεργασία της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΛΜΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (PEF)	25
3.1 Εισαγωγή	25
3.2 Αρχή Λειτουργίας PEF	26
3.3 Παράμετροι Λειτουργίας.....	26

3.4 Εξοπλισμός	29
3.5 Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στην Κυτταρική Μεμβράνη	32
3.6 Η Τεχνολογία PEF ως Μέθοδος προ – Επεξεργασίας	33
3.6.1 PEF και Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	33
3.6.2 PEF και Ξήρανση	34
3.7 Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στις Αντιοξειδωτικές Ουσίες	36
3.8 Μειονεκτήματα και Περιορισμοί	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	39
4.1 Σκοπός	39
4.2 Πειραματική Διαδικασία	39
4.3 Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης	40
4.4 Εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων	42
4.5 Εφαρμογή της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα.....	42
4.6 Αναλυτικές Μέθοδοι	43
4.6.1 Μέτρηση Ενεργότητας Νερού	43
4.6.2 Μέτρηση Περιεχόμενου Νερού και Ολικών Στερεών	44
4.6.3 Μέτρηση Χρώματος	44
4.6.4 Προσδιορισμός της Αντιοξειδωτικής Ικανότητας.....	45
4.6.5 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων	46
4.6.6 Οργανοληπτικός Έλεγχος.....	46
4.7 Επεξεργασία Μετρήσεων	47
4.7.1 Απώλεια νερού και Πρόσληψη στερεών	47
4.7.2 Υπολογισμός Συντελεστή Διάχυσης και Σταθεράς Ρυθμού Ξήρανσης	48
4.7.3 Κινητικό Μοντέλο Υποβάθμισης της Ποιότητας κατά την Αποθήκευση – Μελέτη Διατηρησιμότητας.....	49
4.8 Στατιστική επεξεργασία	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	51
5.1 Πρώτη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης ως Μέθοδο προ – Κατεργασίας για την Παραγωγή Ξηρών Προϊόντων Goji Berry	51
5.1.1 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση	51
5.1.1.1 Προσδιορισμός Απώλειας Νερού και Ολικών Στερεών	51

5.1.1.2 Ενεργότητα Νερού	52
5.1.1.3 Συντελεστής Διάχυσης.....	53
5.1.1.4 Μεταβολή Χρώματος.....	55
5.1.1.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα	57
5.1.1.6 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων	58
5.1.2 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ξήρανση με Θερμό Αέρα.....	59
5.1.2.1 Απώλεια Νερού.....	59
5.1.2.2 Ενεργότητα Νερού	61
5.1.2.3 Σταθερά Ρυθμού Ξήρανσης	62
5.1.2.4 Μεταβολή Χρώματος.....	63
5.1.2.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα	64
5.1.2.6 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων	66
5.1.3 Μελέτη Διατηρησιμότητας – Προσδιορισμός Διάρκειας Ζωής	68
5.1.3.1 Οργανοληπτικός Έλεγχος.....	68
5.1.3.2 Μεταβολή του Συνολικού Χρώματος κατά την Αποθήκευση	81
5.1.3.3 Μεταβολή του Αντιοξειδωτικής Ικανότητας κατά την Αποθήκευση	84
5.1.3.4 Μεταβολή του Συνολικού Φαινολικού Περιεχομένου κατά την Αποθήκευση	87
5.1.3.5 Προσδιορισμός Διάρκειας Ζωής	91
5.2 Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων ως Μέθοδο προ – Κατεργασίας της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης και της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα για την Παραγωγή Ξηρών Προϊόντων Goji Berry	93
5.2.1 Δείκτης Ηλεκτροδιάτρησης της Κυτταρικής Μembrάνης Z_p	93
5.2.2 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση	94
5.2.2.1 Προσδιορισμός Απώλειας Νερού και Ολικών Στερεών	94
5.2.2.2 Ενεργότητα Νερού	97
5.2.2.3 Συντελεστής Διάχυσης.....	97
5.2.2.4 Μεταβολή Χρώματος.....	100
5.2.2.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα	102
5.2.2.6 Συνολική Περιεκτικότητα σε Φαινόλες	103
5.2.3 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ξήρανση με Θερμό Αέρα.....	104
5.2.3.1 Απώλεια νερού.....	104

5.2.3.2 Ενεργότητα νερού	106
5.2.3.3 Σταθερά Ρυθμού Ξήρανσης	108
5.2.3.4 Μεταβολή Χρώματος.....	109
5.2.3.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα	111
5.2.3.6 Συνολική Περιεκτικότητα σε Φαινόλες	112
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ..	115
6.1 Συνοπτική Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων	115
6.2 Συμπεράσματα – Προτάσεις	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ GOJI BERRY

1.1 Εισαγωγή

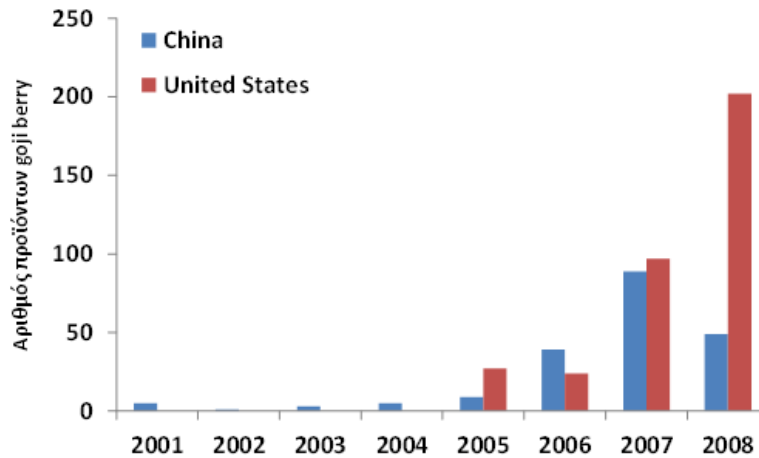
Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, τα goji berries ή wolfberries (*Lycium barbarum*, της οικογένειας Solanaceae) που αποτελούν βασικό παραδοσιακό φαγητό και φάρμακο στην Ανατολική Ασία, έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Πολλά προϊόντα κυκλοφορούν στην αγορά τροφίμων με το όνομα **Goji** (Navvaro et al., 2016).

Υπάρχουν στην πραγματικότητα δύο στενά συγγενικά είδη το *L. barbarum* και το *L. chinense*, τα οποία έχουν μια μακρά παράδοση ως τρόφιμα και φαρμακευτικά φυτά στην Κίνα και άλλες ασιατικές χώρες. Οι καρποί των δύο ειδών είναι πολύ δημοφιλές συστατικό στην κινέζικη κουζίνα. Καταναλώνονται κυρίως ξηρά σε σούπες και σε πολλά πιάτα με κρέας και λαχανικά. Η συγκομιδή των καρπών πραγματοποιείται τους μήνες Αύγουστος – Οκτώβριος (Potterat, 2010) και συνήθως ξηραίνονται στη σκιά μέχρι να συρρικνωθεί ο καρπός και έπειτα εκτίθενται στον ήλιο έως ότου το εξωτερικό δέρμα γίνεται ξηρό και σκληρό (Σχήμα 1.1) (Navvaro et al., 2016) Μπορούν επίσης να καταναλωθούν και φρέσκα. Σύμφωνα με τους προμηθευτές, τα προϊόντα Goji που πωλούνται έξω από την Ασία περιέχουν αποκλειστικά το είδος *L. barbarum*. Ωστόσο, η διάκριση των goji berries από διαφορετικά είδη και ποικιλίες είναι δύσκολη, και έτσι δεν μπορεί να αποκλειστεί η υποκατάσταση ή νοθεία στα εμπορικά προϊόντα (Poterrat, 2010).



Σχήμα 1.1: Ξήρανση καρπών goji berry στον ήλιο

Το goji berry χρησιμοποιείται ευρέως σε αφεψήματα με στόχο τον έλεγχο του βάρους, την αντιγήρανση και την προστασία του ήπατος. Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι οι Κινέζοι προτιμούν να καταναλώνουν τα goji berries μέσω προϊόντων τσαγιού. Η χρήση των goji berries έχει επικρατήσει στα επεξεργασμένα τρόφιμα και ποτά και μάλιστα τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται συνεχώς νέα προϊόντα τόσο στην Κίνα, όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου το goji berry ήταν μάλλον άγνωστο μέχρι το 2005 (Σχήμα 1.2) (Bucheli et al., 2011).



Σχήμα 1.2: Αριθμός παραγόμενων εδώδιμων προϊόντων που περιέχουν goji berry σε Κίνα και Ηνωμένες Πολιτείες

(Πηγή: Bucheli et al., 2011)

1.2 Προέλευση και Άλλα Χαρακτηριστικά

Το goji berry ανήκει στην οικογένεια των Σολανοδών και εμφανίζεται ως ένας κοινός θάμνος με λεπτά, βρώσιμα φύλλα και μικρά μοβ άνθη. Αναπτύσσεται φυσικά σε όλες τις βόρειες και δυτικές περιοχές της Κίνας και φτάνει σε ύψος περίπου τα 2 m. Το σχήμα του καρπού είναι ατρακτοειδές ή ελλειψοειδές, ενώ το μήκος και η διάμετρος κυμαίνονται στα 6 – 20 mm και 3 – 10 mm αντίστοιχα. Ο καρπός περιέχει 20 – 50 σπόρους και έχει μια γλυκιά και φρουτώδη γεύση (Bucheli et al., 2011). Τα δύο κύρια είδη που καλλιεργούνται στην Κίνα είναι το *L. barbarum* L. και το *L. chinense* M. Το είδος *L. barbarum* καλλιεργείται ευρέως για ιατρικούς λόγους στη βόρεια και βορειοδυτική Κίνα, και συγκεκριμένα στην επαρχία Ningxia. Σχεδόν το ήμισυ των κινέζικων goji berries που διατίθενται στο εμπόριο είναι από τη Ningxia, και τα περισσότερα από αυτά είναι *L. barbarum* (Bucheli et al., 2011). Αν και τα δύο αυτά είδη μοιάζουν αρκετά, υπάρχουν αρκετές μορφολογικές διαφορές στα φύλλα, τα άνθη και τους καρπούς (Σχήμα 1.3, Πίνακας 1.1).



(α)

(β)

Σχήμα 1.3: Ώριμα φρούτα *L. barbarum* (α) και *L. chinense* (β)Πίνακας 1.1: Μορφολογικές διαφορές και γεωγραφική κατανομή των *L. barbarum* και *L. chinense* (Wang et al., 2015)

Είδος	Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	Γεωγραφική Κατανομή
<i>L. barbarum</i> L.	Φύλλο: λογχοειδές ή ελλειπτικό. Κοτσάνι: 1 – 2 cm. Κάλυκες: δίλοβοι συνήθως. Ανθοδόχη: 8 – 10 mm, μεγαλύτερο μήκος από το άκρο και τους λοβούς, λοβοί: 5 – 6 mm, εξαπλώνονται. Καρπός: κόκκινο ή πορτοκαλί – κίτρινο χρώμα, επιμήκης ή ωοειδής. Σπόροι: 4 – 20, καφέ – κίτρινο χρώμα.	Κίνα: Ningxia, Gansu, Qinghai, Xinjiang
<i>L. chinense</i> M.	Φύλλο: ωοειδής λεπίδα, ρομβικό, λογχοειδές ή γραμμικώς λογχοειδές. Κοτσάνι: 1 – 2 cm, πυκνοί βλεφαριδοφόροι λοβοί. Κάλυκες: 3 – 5 – διαχωριζόμενοι στα μέσα. Ανθοδόχη: μικρότερο ή ίσο μήκος με τους λοβούς, οι λοβοί είναι χνουδωτοί στα άκρα. Καρπός: κόκκινο χρώμα, ωοειδής ή επιμήκης. Σπόροι: πολυάριθμοι, κίτρινο χρώμα.	Κίνα: Anhui, Fujian, Gansu, Guangdong, Guangxi, Guizhou, Hainan, Hebei, Jiangsu, Jiangxi, Jilin, Liaoning, Nei Mongol, Ningxia, Qinghai, Shaanxi, Shanxi, Sichan, Yunnan, Zhejiang. Ταϊβάν, Ιαπωνία, Κορέα, Μογγολία, Νεπάλ, Πακιστάν, Ταϋλάνδη, ΝΔ Ασία, Ευρώπη

1.3 Χημική Σύσταση του Goji Berry (*L. barbarum*)

Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες είναι το πιο σημαντικό και το πιο άφθονο συστατικό που υπάρχει στο goji berry. Οι πολυσακχαρίτες *L. barbarum* (*L. barbarum* polysaccharides ή LBP) αποτελούνται από μια ομάδα υδατοδιαλυτών γλυκοπροϊόντων σύζευξης με μοριακό βάρος από 8 – 214 kDa και αντιστοιχούν στο 5 – 8% του ξηρού καρπού. Η σύνθεσή τους περιλαμβάνει τους μονοσακχαρίτες: αραβινόζη, ραμνόζη, ξυλόζη, μαννόζη, γαλακτόζη, γλυκόζη, γαλακτουρονικό οξύ καθώς και δεκαοκτώ αμινοξέα (Amagase and Farnsworth, 2011). Η περιεκτικότητα σε LB πολυσακχαρίτες θεωρείται ως ο κύριος δείκτης της φαρμακευτικής αποτελεσματικότητας των προϊόντων Goji.

Καροτενοειδή

Το κόκκινο – πορτοκαλί χρώμα του *L. barbarum* αποδίδεται στο σύμπλεγμα των καροτενοειδών, τα οποία αποτελούν μόνο το 0,03 – 0,5% των αποξηραμένων φρούτων (Peng et al., 2006). Συνολικά στο γένος *Lycium* έχουν ανιχνευθεί δώδεκα καροτενοειδή και οι εστέρες τους (Wang et al., 2015). Το κυρίαρχο καροτενοειδές στα ώριμα κόκκινα φρούτα είναι η διπαλμιτική ζεαξανθίνη, η οποία περιλαμβάνει περίπου το 75% του συνόλου των καροτενοειδών (508,90 μg /g φρέσκου φρούτου) (Liu et al. 2014). Οι Inbaraj et al. (2008) απέδειξαν ότι η διπαλμιτική ζεαξανθίνη (1143,7 μg/g ξηρού βάρους) ήταν παρούσα σε ποσοστό 88% των ολικών καροτενοειδών, ακολουθούμενη από τη μονοπαλμιτική β – κρυπτοξανθίνη και δύο ισομερή της (2 – 4%), τη μονοπαλμιτική ζεαξανθίνη και δύο ισομερή (1 – 5%), το all – trans – β – καροτένιο (2%), και την all – trans – ζεαξανθίνη (0,1%). Μέχρι στιγμής, η πλουσιότερη γνωστή πηγή ζεαξανθίνης είναι τα φρούτα goji berries, η οποία αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ενίσχυση της όρασης (Landrum and Bone, 2001, Cheng et al., 2005). Η περιεκτικότητα των goji berries σε ζεαξανθίνη εξαρτάται από το στάδιο της ωριμότητας, την εποχή, και τη διαδικασία ξήρανσης (Ma et al. 2008).

Άλλα συστατικά

Στο *L. barbarum* έχουν βρεθεί και άλλα μικρότερα μόρια, όπως η βεταΐνη, η σερεβροσίδη, η β – σιτοστερόλη, το p – κουμαρικό οξύ, διάφορες βιταμίνες κ.α. (Πίνακας 1.2).

Πίνακας 1.2: Σύνθεση και βιοδραστικές ιδιότητες του Goji berry (*L. barbarum*) (Endes et al., (2015))

Ιδιότητες		Λιπαρά οξέα (%)	
Υγρασία (%)	10,34 ± 1,32	Μυριστικό	0,11 ± 0,03
Ακατέργαστη πρωτεΐνη (%)	8,90 ± 1,56	Παλμιτικό	8,23 ± 0,67
Ίνες (%)	7,30 ± 0,98	Στεατικό	2,91 ± 0,43
Ολικά σάκχαρα (%)	487,29 ± 12,56	Ολεϊκό	21,69 ± 0,78
Ολικές φαινόλες (mg GAE/100 mL)	3,44 ± 0,37	Λινολεϊκό	60,77 ± 2,37
Αντιοξειδωτική ικανότητα (%)	20,78 ± 1,29	Αραχιδικό	1,83 ± 0,05
Μέταλλα (mg/kg)			
B	34,99 ± 1,46	Mo	0,41 ± 0,09
Ca	1003,40 ± 13,57	Na	28,27 ± 1,27
Cr	0,394 ± 0,08	Ni	0,58 ± 0,07
Cu	10,10 ± 0,89	P	1103,3 ± 16,8
Fe	45,77 ± 1,49	Pb	1,30 ± 0,11
K	134447,4 ± 23,8	Si	493,58 ± 12,39
Mg	806,88 ± 12,49	Se	2,22 ± 0,13
Mn	5,28 ± 0,52	Zn	8,27 ± 0,83

1.4 Goji Berry και Οφέλη στην Υγεία

Ανοσοτροποποιητική και αντικαρκινική δράση

Στην παραδοσιακή κινέζικη ιατρική έχουν χρησιμοποιηθεί ενώσεις που υπάρχουν στα φρούτα goji berries με σκοπό την πρόληψη της εκδήλωσης και εξέλιξης του καρκίνου. Τα goji berries παρουσιάζουν επίσης ανοσοδιεγερτική δράση. Έρευνες έχουν επιβεβαιώσει ότι οι ενώσεις που υπάρχουν στα goji berries έχουν προ – αποπτωτική και ανασταλτική δράση κατά των καρκινικών κυττάρων (Tang et al., 2012). Οι Zhang et al. (2005) διαπίστωσαν ότι οι πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στο goji berry θα μπορούσαν να μειώσουν σημαντικά την υπεροξειδωση των λιπιδίων σε ποντικούς και να αναστείλουν τον πολλαπλασιασμό των καρκινικών κυττάρων στο ήπαρ. Οι Mao et al. (2011) επίσης επιβεβαίωσαν τις αντικαρκινικές ιδιότητες των πολυσακχαριτών του *L. barbarum* και συγκεκριμένα απέδειξαν τη δράση κατά του καρκίνου του παχέος εντέρου.

Προστασία από τις καρδιαγγειακές παθήσεις και την οστεοπόρωση

Οι Lu and Zhao (2010) διερεύνησαν την επίδραση των πολυσακχαριτών του *L. barbarum* στην ανάπτυξη των καρδιαγγειακών παθήσεων χρησιμοποιώντας ποντίκια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πολυσακχαρίτες είχαν προστατευτική επίδραση στην καρδιοτοξικότητα και στην καταστολή του οξειδωτικού στρες. Οι Zhu et al. (2010) αξιολόγησαν την επίδραση των πολυσακχαριτών του *L. barbarum* κατά της οστεοπόρωσης σε ωθηκεκτομηθέντα ποντίκια. Προέκυψε ότι, οι πολυσακχαρίτες μπόρεσαν να ενισχύσουν την οστική πυκνότητα και την περιεκτικότητα των οστών σε μεταλλικά στοιχεία.

Νευροπροστατευτική δράση

Οι Yang et al. (2012) μελέτησαν την επίδραση των πολυσακχαριτών LBP σε πειραματικό μοντέλο εγκεφαλικού επεισοδίου, με σκοπό την ανάπτυξη ιδανικών νευροπροστατευτικών παραγόντων. Ανέφεραν ότι οι πολυσακχαρίτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως προληπτικό μέσο σε ασθενείς με υψηλό κίνδυνο ισχαιμικού επεισοδίου.

Αντιδιαβητική δράση

Υπάρχουν αρκετές κλινικές και πειραματικές έρευνες που αποδεικνύουν την αντιδιαβητική δράση του χυμού goji berry. Ο διαβήτης σχετίζεται σημαντικά με το οξειδωτικό στρες, το οποίο σύμφωνα με κλινικές και πειραματικές μελέτες προκαλείται από την υπεργλυκαιμία η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στο σακχαρώδη διαβήτη (Jin et al., 2013). *In vivo* και *in vitro* πειράματα απέδειξαν ότι οι πολυσακχαρίτες του *L. barbarum* συνέβαλαν στο να αυξηθεί η έκκριση της ινσουλίνης και η χρήση της γλυκόζης, προστατεύοντας έτσι τα β – κύτταρα. Οι πολυσακχαρίτες LBP μείωσαν τα επίπεδα ολικής χοληστερίνης και τριγλυκεριδίων στο αίμα και αύξησαν τη λιποπρωτεΐνη υψηλής πυκνότητας (HDL) σε υπερλιπιδαιμικά κουνέλια. Τα αποτελέσματα αυτά σαφώς υποδηλώνουν την υπολιπιδαιμική επίδραση τόσο του goji berry, όσο και του χυμού του (Luo et al., 2004).

Αντιοξειδωτική δράση

Η χημική ανάλυση του goji berry επιβεβαίωσε την υψηλή αντιοξειδωτική του δράση. Έχει διαπιστωθεί ότι το *L. barbarum* είναι πολύ δραστικό ενάντια των ελεύθερων ριζών (ανιόντα υπεροξειδίου, ρίζες υδροξυλίου). Η αντιοξειδωτική δράση του goji berry οφείλεται κυρίως στα καροτενοειδή, τους πολυσακχαρίτες, τα φλαβονοειδή και το ασκορβικό οξύ.

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των πολυσακχαριτών του *L. barbarum* ως δραστικό αντιοξειδωτικό ενάντια πολλών τύπων υπεροξειδωσης, όπως είναι και η υπεροξειδωση των λιπιδίων (Li, 2007). Οι πολυσακχαρίτες έχουν διάφορους τρόπους δράσης, μπορούν να δρουν ως βιοδραστικές ίνες και να συμβάλλουν στη σύνθεση και την απελευθέρωση αντιοξειδωτικών ουσιών.

1.5 Τα Προϊόντα Goji στην Αγορά Τροφίμων

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τα εξωτικά φρούτα, καθώς εμφανίζουν ευεργετικές ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία (Llorent et al., 2013). Την ανάγκη αυτή έρχονται να καλύψουν νέα λειτουργικά προϊόντα όπως νερά εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά, ροφήματα τσαγιού, ενεργειακά ποτά και άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα οποία έχουν αυξημένη ζήτηση καθώς θεωρούνται υγιεινά και ακολουθούν επίσης μια αποτελεσματική στρατηγική μάρκετινγκ (Gruenwald, 2009).

Ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά προϊόντα είναι το goji berry, το οποίο προήλθε από την παραδοσιακή κινέζικη ιατρική, όπου χρησιμοποιούταν ως φάρμακο σε διάφορες αρρώστιες και προβλήματα υγείας, και έφτασε μέχρι τις δυτικές χώρες. Τα βιοδραστικά συστατικά που καθιστούν το goji berry λειτουργικό τρόφιμο είναι οι πολυσακχαρίτες, τα καροτενοειδή και ειδικότερα η ζεαξανθίνη, τα φλαβονοειδή και άλλα μεταλλικά στοιχεία.

Υπάρχουν πολλά προϊόντα στο εμπόριο τα οποία χρησιμοποιούν τα goji berries 100% για τη σύνθεσή τους ή συνυπάρχουν με άλλα συστατικά. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα εμπορικά προϊόντα, ωστόσο τα πιο κοινά είναι τα αφεψήματα, όπως είναι το τσάι, οι χυμοί και τα ενεργειακά ποτά. Επίσης, το goji berry πωλείται ως αποξηραμένο φρούτο ή σε κάψουλες. Τα προϊόντα Goji πωλούνται κυρίως σε καταστήματα με βιολογικά τρόφιμα, αλλά και στο διαδίκτυο σε ιστοσελίδες που σχετίζονται με την υγεία, την ευεξία και τη μακροζωία (Donno et al., 2015).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός εμπορικού προϊόντος με goji berry είναι το ποτό GoChi™, ένα υγρό συμπλήρωμα διατροφής το οποίο φαίνεται να περιέχει πάνω από 30% περισσότερους βιοδραστικούς πολυσακχαρίτες (Potterat, 2010).

Τα goji berries και τα προϊόντα Goji πωλούνται νόμιμα ως τρόφιμα ή συμπληρώματα διατροφής στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη. Ωστόσο, τα προϊόντα αυτά δεν μπορούν να προωθηθούν ως φάρμακα (Potterat, 2010). Πρόσφατα, οι ολλανδικές αρχές (2004) και ο Οργανισμός Ασφάλειας Τροφίμων στο Ηνωμένο Βασίλειο (2007) κατέταξαν το *L. barbarum* / goji ως απλό και όχι ως καινοτόμο τρόφιμο, καθώς υπήρχαν επαρκή στοιχεία διατροφικής χρήσης των Goji στο Ηνωμένο Βασίλειο πριν από το 1997, κατά συνέπεια δεν εμπίπτουν στη νομοθεσία για τα καινοτόμα τρόφιμα (Amagase and Farnsworth, 2011). Η πώληση των φρούτων *L. barbarum* στη Γερμανία και στην Ολλανδία ξεκίνησε πριν από το 1997. Μία από τις πρώτες εταιρίες στην Ε.Ε. που εμπορεύτηκε τα goji berries ήταν ένα ασιατικό σούπερ – μάρκετ στη Γαλλία. Το 2005 το *L. barbarum* αφαιρέθηκε επίσημα από τον κατάλογο των απαγορευμένων φυτών στην Ολλανδία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Η αφυδάτωση αποτελεί την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μέθοδο συντήρησης των τροφίμων. Ο όρος *αφυδάτωση* αναφέρεται στην απομάκρυνση της υγρασίας από ένα υλικό με κύριο στόχο τη μείωση της μικροβιακής ανάπτυξης και την υποβάθμιση του προϊόντος (Araya, and Ratti, 2009). Εκτός από τη διατήρηση, η αφυδάτωση εξασφαλίζει το μειωμένο βάρος και όγκο του προϊόντος με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους συσκευασίας και μεταφοράς.

Μια από τις πρώτες μεθόδους αφυδάτωσης, που προέρχεται από την αρχαία Κίνα και την Περσία, είναι η ξήρανση στον ήλιο (sun drying) (Araya, and Ratti, 2009). Η ξήρανση στον ήλιο εφαρμόζεται και σήμερα ως συμβατική μέθοδος αφυδάτωσης σε φρούτα, λαχανικά, κρέας, ψάρια, φυτά και αρωματικά βότανα, με χαρακτηριστικό πλεονέκτημα το χαμηλό κόστος και τις χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διεργασία. Ωστόσο, αποτελεί πολύωρη και μη ελεγχόμενη διαδικασία με σημαντικές επιπτώσεις στην χημική υποβάθμιση και μικροβιακή μόλυνση του τροφίμου.

Τα τελευταία χρόνια, αντικείμενο εντατικής έρευνας στον τομέα της τεχνολογίας τροφίμων, είναι η εύρεση νέων μεθόδων επεξεργασίας ωμών φρούτων και λαχανικών, που θα εξασφαλίζουν τη δημιουργία ελκυστικών προϊόντων εμπλουτισμένα με συστατικά που συχνά χάνονται κατά τη θερμική επεξεργασία. Μια από τις νέες αυτές μεθόδους είναι η **ωσμωτική αφυδάτωση**. Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διαδικασία προ – επεξεργασίας, η οποία εξαρτάται από το φαινόμενο διάχυσης της υγρασίας από τα τρόφιμα με εμβάπτιση σε ένα υπερτονικό διάλυμα (Shi, and Xue, 2009, Tortoe, 2010).

Η επιλογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – επεξεργασία πριν τις διάφορες διαδικασίες, π.χ. ξήρανση και κατάψυξη, μπορεί να προκαλέσει την αύξηση της θρεπτικής αξίας και τη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων τροφίμων (Falade et al., 2007, Lombard et al., 2008). Η ωσμωτική αφυδάτωση περιλαμβάνει την αμφίδρομη μεταφορά μάζας και είναι ελεγχόμενη διαδικασία όσον αφορά στην εισαγωγή επιθυμητών θρεπτικών ουσιών στο φυτικό υλικό.

Η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια ως μια σημαντική συμπληρωματική τεχνική επεξεργασίας και συντήρησης αφυδατωμένων τροφίμων, δεδομένου ότι παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των επιπτώσεων της θερμότητας στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, κυρίως τη γεύση και το χρώμα, αναστέλλει την ενζυμική αμαύρωση και συμβάλει στην ελαχιστοποίηση του κόστους της ενέργειας (Khan, 2012).

Τα χαρακτηριστικά του προϊόντος μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης όπως η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, η θερμοκρασία, η χρονική διάρκεια της ώσμωσης, κ.ά. (Ramya, and Jain, 2016). Ωστόσο, από τη διαδικασία της ώσμωσης

δεν προκύπτει ένα προϊόν με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, με αποτέλεσμα να θεωρείται σταθερό και ως εκ τούτου, τα ωσμομένα προϊόντα πρέπει να ξηραίνονται περαιτέρω.

Τα προϊόντα τροφίμων που παράγονται με αυτή τη διεργασία πλεονεκτούν έναντι άλλων στα παρακάτω χαρακτηριστικά (Lewicki, and Andrzej, 2014):

- Είναι τρόφιμα έτοιμα προς κατανάλωση (ready to eat).
- Η ποσότητα της επιθυμητής ουσίας που θα διεισδύσει μέσω του ιστού στο φρέσκο τρόφιμο μπορεί να ρυθμίζεται για την ικανοποίηση ξεχωριστών αναγκών.
- Επομένως, είναι δυνατή η ρύθμιση της χημικής σύστασης των τροφίμων.
- Η μάζα της ωμής πρώτης ύλης μειώνεται συνήθως κατά το ήμισυ.

2.2 Μηχανισμός της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

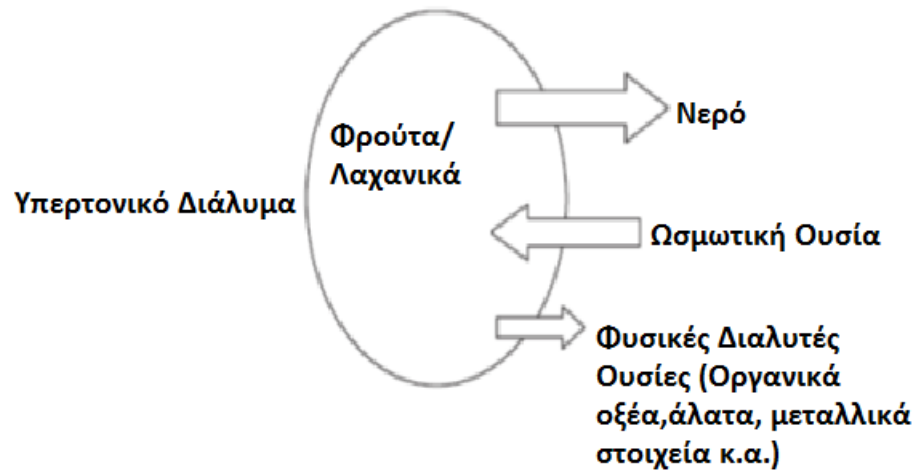
Η ώσμωση είναι στην πραγματικότητα συνδυασμός των διεργασιών της αφυδάτωσης (dehydration) και του εμποτισμού (impregnation) (Shi, and Xue, 2009).

Κατά την ώσμωση, η πρώτη ύλη τοποθετείται σε υπερτονικό διάλυμα, υψηλής ωσμωτικής πίεσης και χαμηλής ενεργότητας νερού. Έτσι λαμβάνουν χώρα τα παρακάτω φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Ramya, and Jain, 2016):

- 1) Το νερό διαχέεται από το προϊόν στο διάλυμα, αρχικά με ταχύτερο ρυθμό και βραδύτερο στη συνέχεια.
- 2) Οι διαλυμένες ουσίες μεταφέρονται από το ωσμωτικό διάλυμα στο προϊόν. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η εισαγωγή οποιασδήποτε επιθυμητής ουσίας που θα βελτιώσει τα θρεπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Αυτά τα συστατικά μπορεί να είναι αντιοξειδωτικές ουσίες, φυσικές χρωστικές (π.χ., καροτενοειδή), μέταλλα και βιταμίνες (Bellary et al., 2011).
- 3) Οι διαλυμένες ουσίες του αρχικού προϊόντος, όπως σάκχαρα, οργανικά οξέα, βιταμίνες, μέταλλα κ.ά. διαφεύγουν προς το διάλυμα. Αν και η ποσότητα αυτή μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, είναι ουσιαστική για τη σύνθεση του τελικού προϊόντος.

Όταν το κυτταρικό στερεό υλικό βυθίζεται στο υπέρτονο διάλυμα, τα κύτταρα του πρώτου στρώματος του υλικού έρχονται σε επαφή με το διάλυμα και αρχίζουν να χάνουν νερό, λόγω της βαθμίδας συγκέντρωσης μεταξύ των κυττάρων και του υπερτονικού διαλύματος. Τότε, αρχίζουν να συρρικνώνονται. Κατόπιν, τα κύτταρα του δεύτερου στρώματος του υλικού αρχίζουν να αντλούν το νερό στο πρώτο στρώμα και ακολουθεί η συρρίκνωσή τους. Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και η συρρίκνωση του ιστού διαδίδονται από την επιφάνεια προς το κέντρο του στερεού συναρτήσει του χρόνου διεργασίας. Όσον αφορά στα κύτταρα που βρίσκονται στο κέντρο του υλικού, αποβάλλουν στο τέλος το νερό και η διαδικασία μεταφοράς μάζας τείνει στην ισορροπία έπειτα από μια μακρόχρονη περίοδο επαφής του υγρού και του στερεού. Τα

φαινόμενα μεταφοράς μάζας και συρρίκνωσης του ιστού λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Σχήμα 2.1) (Phisut, 2012).



Σχήμα 2.1: Μεταφορά μάζας σε φρούτα και λαχανικά κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

2.3 Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης στη Βιομηχανία Τροφίμων

Πρόσφατα, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον από τις βιομηχανίες τροφίμων σχετικά με τη δυνατότητα τροποποίησης των λειτουργικών χαρακτηριστικών των τροφίμων και τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των προϊόντων.

Η μέθοδος της ωσμωτικής αφυδάτωσης μειώνει το χρόνο ξήρανσης καθώς και την απώλεια του ασκορβικού οξέος κατά τη διάρκεια αυτής (Shi, and Xue, 2009). Η βιομηχανία τροφίμων έχει εφαρμόσει την ώσμωση ως μέθοδο προ – κατεργασίας σε φρέσκα φρούτα, προκειμένου να ικανοποιήσει τις μεγάλες απαιτήσεις της αγοράς για φρέσκα και νωπά εμπορεύματα έναντι των κατεψυγμένων και κονσερβοποιημένων.

2.3.1 Πλεονεκτήματα Χρήσης

Τα κύρια πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι (Rahman, 2007):

- 1) Η βελτίωση της ποιότητας του χρώματος, της γεύσης και της υφής.
- 2) Η ενεργειακή απόδοση.
- 3) Η μείωση του κόστους συσκευασίας και διάθεσης του εμπορεύματος.
- 4) Η εξάλειψη της ανάγκης για χημική κατεργασία.

- 5) Η σταθερότητα του τελικού προϊόντος και η διατήρηση των θρεπτικών συστατικών κατά την αποθήκευση.

Η βελτίωση της ποιότητας

Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης των τροφίμων πριν από την ξήρανση με αέρα βελτιώνει την ποιότητα του τελικού προϊόντος διότι ελαχιστοποιεί τη βλάβη στο κύτταρο, καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας είναι χαμηλή, μειώνει την ενζυμική αμαύρωση λόγω της εμβάπτισης της πρώτης ύλης στο υπερτονικό διάλυμα. Επιπλέον, συμβάλλει στη μείωση των πτητικών συστατικών του αρώματος της γεύσης (flavor) και στην ελαχιστοποίηση της οξύτητας των φρούτων με αποτέλεσμα τη μείωση της ανάγκης για προσθήκη αντιοξειδωτικών ουσιών (Ramya and Jain, 2016). Ωστόσο, η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών μέσω της ώσμωσης εμποδίζει την καταστροφή της δομής των τροφίμων κατά τη διάρκεια της μετέπειτα ξήρανσης. Τα προϊόντα της ώσμωσης έχουν πιο γλυκιά γεύση συγκριτικά με τα προϊόντα της συμβατικής ξήρανσης. Το τελικό προϊόν είναι πολύ ικανοποιητικό για άμεση κατανάλωση, χάρη στις καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες και στην ανώτερη θρεπτική αξία (Tortoe, 2010).

Η ενεργειακή απόδοση

Η ξήρανση θεωρείται ως μια από τις πιο ενεργειακά απαιτητικές διαδικασίες τόσο στα τρόφιμα, όσο και στα μη εδώδιμα προϊόντα, λόγω του υψηλού ποσού λανθάνουσας θερμότητας για την εξάτμιση του νερού από το προϊόν. Η ωσμωτική αφυδάτωση απαιτεί λιγότερη ενέργεια συγκριτικά με άλλες μεθόδους αφυδάτωσης όπως η ξήρανση με αέρα και υπό κενό (Tortoe, 2010). Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους ξήρανσης, δεν υπάρχει ανάγκη παροχής λανθάνουσας θερμότητας, αφού η υγρασία αφαιρείται από το τρόφιμο με διάχυση και όχι με εξάτμιση. Ταυτόχρονα, δεν πραγματοποιείται αλλαγή φάσης και έτσι υπάρχει η δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας. Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μέθοδο προ – κατεργασίας, συνεπώς για την παραγωγή σταθερού προϊόντος απαιτείται ο συνδυασμός της με άλλη διεργασία ξήρανσης όπως η ξήρανση υπό κατάψυξη, ξήρανση υπό κενό, ξήρανση με μικροκύματα κ.α.. Αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτού είναι η ελάττωση της κατανάλωσης ενέργειας και η βελτίωση της ποιότητας (Ramya, and Jain, 2016). Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ενέργειας κατά την ώσμωση αποδίδεται στις λειτουργίες (Lewicki, and Andrzej, 2014):

- Θέρμανση του υλικού και του ωσμωτικού διαλύματος στην επιθυμητή θερμοκρασία με αποτέλεσμα την απώλεια θερμότητας.
- Ανάμιξη ή άντληση και ανακυκλοφορία του διαλύματος.
- Διάλυση της υπέρτονου ουσίας σε αραιωμένο διάλυμα.
- Εξάτμιση του νερού σε κατάλληλο εξατμιστήρα.

Η εξάλειψη της ανάγκης για χημική κατεργασία

Στην ωσμωτική αφυδάτωση δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή κάποιας χημικής επεξεργασίας για την αναστολή της ενζυμικής και οξειδωτικής αμαύρωσης. Τα σάκχαρα αναστέλλουν αποτελεσματικά τη δράση της πολυφαινολοξειδάσης που καταλύει την οξειδωτική αμαύρωση σε φρούτα και λαχανικά. Επιπλέον, λόγω της εμβάπτισης της πρώτης ύλης στο ωσμωτικό διάλυμα, ο φυτικός ιστός δεν εκτίθεται στο οξυγόνο και άρα δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη αντιοξειδωτικών ουσιών (Ramya and Jain, 2016).

Η σταθερότητα του προϊόντος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης

Τα προϊόντα της ώσμωσης είναι πιο σταθερά από τα μη επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, λόγω της χαμηλής ενεργότητας νερού. Η χαμηλή ενεργότητα νερού περιορίζει τις χημικές αντιδράσεις μικροβιακής αλλοίωσης και την παραγωγή τοξινών από μικροοργανισμούς (Rahman, 2007).

2.3.2 Προβλήματα κατά την Εφαρμογή στη Βιομηχανία

Υπάρχουν βέβαια και αρκετά τεχνολογικά προβλήματα τα οποία πρέπει να διευθετηθούν πριν την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη Βιομηχανία Τροφίμων.

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι πιθανή η αύξηση της γλυκύτητας ή της αλμυρότητας καθώς και η μείωση της οξύτητας του τελικού προϊόντος, γεγονός που δεν είναι πάντα επιθυμητή. Ωστόσο, μπορεί να αποφευχθεί με τον έλεγχο της διαλυμένης ουσίας και τη βελτιστοποίηση της διεργασίας για τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Αρκετές φορές, κατά την ώσμωση προστίθενται στο τρόφιμο εδώδιμες επικαλύψεις πλούσιες σε συγκεκριμένα συστατικά που περιορίζουν την μικροβιακή ανάπτυξη στην επιφάνεια αυτών και τα προστατεύουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτές οι βρώσιμες ημιπερατές μεμβράνες συμβάλλουν επίσης στη μείωση της πρόσληψης ουσιών με ταυτόχρονη αύξηση της απώλειας νερού από την πρώτη ύλη (Rahman, 2007). Σε ένα ωσμωτικό διάλυμα η διάλυση ουσιών μεγαλύτερου μοριακού βάρους επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο (Collignan, et al., 2001).

Η διαχείριση του ωσμωτικού μέσου

Ο τρόπος διαχείρισης του ωσμωτικού διαλύματος αποτελεί μείζων συντελεστή προκειμένου να γίνει η διεργασία βιώσιμη για τη βιομηχανία. Το κόστος του ωσμωτικού διαλύματος, που σχετίζεται άμεσα με τη σύνθεση, τη συγκέντρωση, την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση, την προσθήκη διαλυμένων ουσιών και τη διαχείριση των αποβλήτων, είναι ο παράγοντας κλειδί για την επιτυχία της διεργασίας. Η σύνθεση του διαλύματος διαφέρει για κάθε φρούτο και

λαχανικό και επηρεάζει την ποιότητα του προϊόντος όσον αφορά στο χρώμα, τα σάκχαρα, τα μέταλλα, τις βιταμίνες και τα οξέα. Με την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος αυξάνεται και η μικροβιακή μόλυνση του. Ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες λαμβάνει χώρα η διεργασία, το μικροβιακό φορτίο μετά από αρκετούς κύκλους ώσμωσης μπορεί να κυμαίνεται από 2×10^2 CFU/mL μέχρι τα μέγιστα επίπεδα μυκήτων 10^5 CFU/mL μετά το πέρας 18 ωρών και την ολοκλήρωση 15 κύκλων (Dala – Rossa, 2001).

Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος της διεργασίας

Οι ανεπαρκείς πληροφορίες και τα περιορισμένα δεδομένα που είναι διαθέσιμα παρεμποδίζουν τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και έλεγχο της διεργασίας στη βιομηχανία. Είναι αναγκαία η διεξαγωγή έρευνας για την κατανόηση του τρόπου μεταβολής των ισοζυγίων και του ρυθμού της διεργασίας καθώς μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά αυτής και των τροφίμων. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ τη βιομηχανία ενδιαφέρουν ποσοτικά συμπεράσματα. Σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό και έλεγχο της ώσμωσης είναι οι πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του διαλύματος, όπως είναι το ιξώδες και η πυκνότητα. Πολλές φορές, τα φρούτα και τα λαχανικά τείνουν να επιπλέουν στο συμπυκνωμένο σιρόπι, εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητάς του. Το ιξώδες του διαλύματος ασκεί σημαντική αντίσταση στη μεταφορά μάζας με αποτέλεσμα την προσκόλληση του στην επιφάνεια του τροφίμου (Rahman, 2007). Για την εξασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι απαραίτητη η έρευνα και η εξέταση πολλών παραγόντων, όπως η καταστροφή των κυττάρων και του αρώματος της γεύσης (flavor), λόγω της μεγάλης διάρκειας της διεργασίας και της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος.

2.4 Διάθεση των Προϊόντων της Ωσμωτικής αφυδάτωσης στο Εμπόριο

Τα ωσμο – αφυδατωμένα προϊόντα είναι προϊόντα μέσης υγρασίας και είναι έτοιμα προς κατανάλωση. Ο κύριος σκοπός της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι να παρέχει σταθερότητα στα προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γαλακτοβιομηχανίες, σε βιομηχανίες άρτου καθώς και σε βιομηχανίες ζαχαρωτών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή μαρμελάδων και άλλων συμπυκνωμάτων από φρούτα και λαχανικά (Khan, 2012). Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα φρούτα όπως φράουλα, μάνγκο, ανανά, μπανάνα, και μήλο, αλλά και σε πολλά λαχανικά όπως πιπεριά, πατάτα και ντομάτα. Η ωσμωτική αφυδάτωση επιδρά κυρίως στις διατροφικές και λειτουργικές ιδιότητες του προϊόντος, αλλά και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα συμβάλλει στη βελτίωσή τους. Η διαδικασία είναι αποτελεσματική και σε ήπιες θερμοκρασίες (περιβάλλοντος) και έτσι ελαχιστοποιείται η υποβάθμιση του χρώματος και του αρώματος της γεύσης (flavor) λόγω θερμότητας. Επιπλέον, τα σάκχαρα περιβάλλουν τα φρούτα και τα λαχανικά και εμποδίζουν τον αποχρωματισμό τους. Αυτές οι ιδιότητες επιτρέπουν τη χρήση τους

σε διάφορα συστήματα τροφίμων. Για παράδειγμα, πολλά φρούτα που έχουν υποστεί ξήρανση με ώσμωση μπορούν να προστεθούν σε είδη αρτοποιίας, όπως οι σταφίδες. Αυτές οι βελτιώσεις επιτυγχάνονται με τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας έναντι των συμβατικών μεθόδων ξήρανσης, λόγω της αρχικής απώλειας νερού από τα φρούτα. Η ξήρανση με θερμό αέρα με προ – κατεργασία την ωσμωτική αφυδάτωση, χρησιμοποιείται συχνά σε τροπικές χώρες για την παραγωγή ημι – ζαχαρωμένων αποξηραμένων φρούτων.

2.5 Παράμετροι που Επηρεάζουν την Ωσμωτική Αφυδάτωση

Μεταβλητές όπως ο βαθμός ωρίμανσης και η ποικιλία της πρώτης ύλης, η προ – επεξεργασία, η θερμοκρασία, η φύση και η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου, η ανάδευση, η γεωμετρία του υλικού, η αναλογία διαλύματος και τρόφιμου, οι διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες, τα πρόσθετα, η δομή και η πίεση επιδρούν στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Chavan, and Amarowicz, 2012).

2.5.1 Παράμετροι που Σχετίζονται με τα Χαρακτηριστικά της Πρώτης Ύλης

Η ποιότητα της πρώτης ύλης

Η ποικιλία και η ωριμότητα των φρούτων και λαχανικών κυρίως ελέγχουν την απώλεια νερού και την εισχώρηση των στερεών κατά τη διεργασία της ώσμωσης. Ανάλογα την ποικιλία, τα φρούτα και λαχανικά διαφέρουν ως προς το συμπαγή ιστό, την αρχική συγκέντρωση σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά, το χώρο μεταξύ των κυττάρων και τη δράση των ενζύμων.

Η γεωμετρία της πρώτης ύλης

Το σχήμα του στερεού υλικού είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, διότι η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη των στερεών ελαττώνονται με αύξηση του μεγέθους του δείγματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το στερεό δείγμα, τόσο πιο αργά αφυδατώνεται, καθώς το μήκος της διάχυσης είναι μεγαλύτερο και μικρότερη η επιφάνεια για την ανταλλαγή των στερεών. Επομένως, τα στερεά εισέρχονται στο δείγμα με βραδύτερο ρυθμό (Nieuwenhuijzen et al., 2001). Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής κατεργασίας η διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης μπορεί να μεταβληθεί από μερική σε ολική, οδηγώντας σε σημαντικές αλλαγές στη δομή των ιστών. Οι Fito et al. (1996) ανέφεραν ότι η δομή των ιστών διαδραματίζει ένα σπουδαίο ρόλο τόσο στο πορώδες της ύλης, αλλά και στο σχήμα και μέγεθος των πόρων. Ο ρυθμός με τον οποίον εξέρχεται το νερό από τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πρωτίστως συνάρτηση του μεγέθους (Falade and Igbeka 2007).

2.5.2 Παράμετροι που Σχετίζονται με τη Διεργασία

Η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται επίσης από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των διαλυμένων ουσιών που χρησιμοποιούνται, καθώς η αποτελεσματικότητα της προκύπτει κυρίως από τις διαφορές στο μοριακό βάρος, την ιοντική κατάσταση, και τη διαλυτότητα της διαλυμένης ουσίας στο νερό (Bekele and Ramaswamy, 2010). Για την επιλογή της διαλυμένης ουσίας πρέπει να λαμβάνονται κάθε φορά υπόψιν παράγοντες όπως η θερμοκρασία του διαλύματος της ώσμωσης, η συγκέντρωση και η φύση του, η ανάδευση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διαδικασίας, η αναλογία ωσμωτικού διαλύματος και τροφίμου.

Η προ – κατεργασία

Προ – κατεργασίες όπως το ζεμάτισμα, η θείωση, η εμφάνιση σε αλκαλικό διάλυμα, η εφαρμογή της υδροστατικής πίεσης και η κατάψυξη εφαρμόζονται από πολλούς ερευνητές πριν την ωσμωτική αφυδάτωση για τον περιορισμό της κυτταρικής βλάβης που προκαλούν οι συμβατικές μέθοδοι ξήρανσης. Ο συνδυασμός του ζεματίσματος και της ώσμωσης ως προ – επεξεργασία της ξήρανσης σε φέτες καρότου είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της θρεπτικής ποιότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Tadesse et al., 2015).

Το είδος και η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος

Η επιλογή του ωσμωτικού διαλύματος έχει μεγάλη σημασία για τη διεργασία, αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό της διάχυσης. Σε ένα ωσμωτικό διάλυμα χρησιμοποιούνται συνήθως η σακχαρόζη, η γλυκόζη, το σιρόπι αμύλου ή καλαμποκιού, η φρουκτόζη, η σορβιτόλη, η γλυκερόλη, το σιρόπι γλυκόζης, το μέλι και χλωριούχο νάτριο (NaCl).

Τα ωσμωτικά διαλύματα με χαμηλότερο μοριακό βάρος μπορούν πιο εύκολα να διεισδύσουν στα κύτταρα των φρούτων και των λαχανικών (Phisut, 2012). Η ωσμωτική διεργασία επηρεάζεται και από το pH του διαλύματος. Έρευνες έδειξαν ότι σε pH 3 η απώλεια του νερού ήταν μεγαλύτερη (Ahmed et al., 2016). Οι El – Aouar et al. (2006) μελέτησαν την επίδραση της σακχαρόζης και του σιροπιού καλαμποκιού στη μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης παπάγιας. Διαπιστώθηκε ότι στο δείγμα που είχε αφυδατωθεί σε διάλυμα σακχαρόζης είχε επιτευχθεί μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σιρόπι καλαμποκιού έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος και ιξώδες. Η σακχαρόζη είναι από τις καλύτερες ξηρές ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την ώσμωση στα φρούτα, λόγω της αποτελεσματικότητας και της ευχάριστης γεύσης που προσδίδει (Falade and Igbeka 2007). Το χλωριούχο νάτριο έχει αναφερθεί ότι είναι ένα εξαιρετικό ωσμωτικό μέσο για τα λαχανικά και προσθήκης μικρής ποσότητας αυξάνει την κινητήρια δύναμη της διεργασίας ξήρανσης, λόγω της μεγάλης ικανότητας να μειώνει την ενεργότητα

νερού. Το χλωριούχο νάτριο έχει χαμηλό μοριακό βάρος, αλλά με μεγαλύτερη επίδραση έναντι των σακχάρων λόγω ιονισμού (Falade and Igbeka 2007). Ωστόσο, η χρήση του χλωριούχου νατρίου περιορίζεται σε μικρές ποσότητες καθώς αποδίδει αλμυρή γεύση στο τελικό προϊόν. Η συγκέντρωση των ωσμωτικών ουσιών επηρεάζει επίσης τη μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Phisut, 2012). Αύξηση στην συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος οδηγεί σε μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού μέχρι το επίπεδο ισορροπίας (Tortoe, 2010). Αντίθετα, το λιγότερο συμπυκνωμένο διάλυμα σακχαρόζης οδηγεί σε ελάχιστη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών (Tortoe, 2010). Οι Falade et al. (2007) μελέτησαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση φετών καρπουζιού, χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλύματος σακχαρόζης (40 °Brix, 50 °Brix και 60 °Brix). Η μεγαλύτερη απώλεια νερού παρατηρήθηκε στο δείγμα που εμβαπτίστηκε στο διάλυμα σακχαρόζης με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Ομοίως, οι Mundada et al. (2011) μελέτησαν την επίδραση διαφόρων συγκεντρώσεων σακχαρόζης (40 ° Brix, 50 ° Brix και 60 ° Brix) στο ρυθμό μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης σε περικάρπιο ροδιού. Το δείγμα ροδιού που εμβαπτίστηκε σε διάλυμα σακχαρόζης 60 °Brix έδειξε υψηλότερη πρόληψη στερεών και απώλεια νερού, σε σύγκριση με τα δείγματα που βρίσκονταν σε 40 °Brix και 50 °Brix.

Η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος

Είναι γνωστό ότι η διάχυση είναι φαινόμενο εξαρτώμενο της θερμοκρασίας. Η υψηλότερη θερμοκρασία κατά τη διεργασία προωθεί την ταχύτερη απώλεια νερού από το κύτταρο και τη βελτίωση της μεταφοράς μάζας εντός του προϊόντος λόγω του χαμηλότερου ιξώδους της ωσμωτικού μέσου (Phisut, 2012). Οι Lazarides et al., (1995) ανέφεραν ότι η ωσμωτική επεξεργασία σε μήλο στη θερμοκρασία των 30 και 50 °C οδήγησε σε μεγαλύτερη πρόσληψη σακχάρων (έως και 55%) σε σύγκριση με τους 25 °C (θερμοκρασία δωματίου). Η διόγκωση και πλαστικοποίηση της μεμβράνης ενισχύει την διαπερατότητα της. Ωστόσο, η θερμοκρασία άνω των 50 °C κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προκαλεί δυσμενείς μεταβολές (Khan, 2012, Shi and Xue, 2009).

Η ανάδευση

Η ανάδευση κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση ή εξάλειψη της αντίστασης στη μεταφορά μάζας με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού. Η χρήση ωσμωτικών διαλυμάτων υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρα δημιουργεί προβλήματα όπως η επίπλευση μέρους του δείγματος εμποδίζοντας έτσι τη μεταξύ τους επαφή με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας μεταφοράς μάζας (Moreira et al., 2007 and Phisut, 2012). Οι Moreira et al. (2007) μελέτησαν το ρυθμό μεταφοράς μάζας σε αναδευόμενα και μη δείγματα. Τα αναδευόμενα δείγματα έδειξαν μεγαλύτερη απώλεια βάρους από ό, τι τα μη – αναδευόμενα. Η διαδικασία της ανάδευσης οδηγεί σε υψηλότερο ποσοστό διάχυσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι ταχύτερη όταν γίνεται υπό ανάδευση, αλλά εάν η διαφορά στη μεταφορά μάζας είναι μικρή, είναι πιο οικονομικό να μην εφαρμόζεται (Falade and Igbeka, 2007).

Η αναλογία δείγματος: ωσμωτικού διαλύματος

Η αναλογία διαλύματος και πρώτης ύλης θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η κινητήρια δύναμη για την απομάκρυνση της υγρασίας εξακολουθεί να υπάρχει μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Η κινητήρια δύναμη ελαττώνεται με την απομάκρυνση του νερού και την αραίωση του διαλύματος (Ramya and Jain, 2016). Η μεγαλύτερη επιτρεπτή αναλογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι έως 1:10. Έτσι, είναι δυνατή η αποφυγή της αραίωσης του ωσμωτικού διαλύματος, καθώς εξέρχεται το νερό από το τρόφιμο και εισρέουν οι διαλυτές ουσίες σε αυτό. Ωστόσο, βέλτιστη αναλογία δείγματος – διαλύματος θεωρείται η 1:2 ή 1:3.

Η χρονική διάρκεια της διεργασίας

Η αύξηση του χρόνου εμβάπτισης οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Ispir and Toğrul, 2009, Mundada et al., 2011). Οι περισσότερες αλλαγές στο βάρος και στην περιεκτικότητα σε ξηρά ύλη λαμβάνουν χώρα κατά το πρώτα 30 λεπτά της επεξεργασίας, ενώ οι μακροσκοπικές ιδιότητες όπως το σχήμα και το μέγεθος των κυττάρων, το σχήμα του μεσοκυττάρου μεταβάλλονται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας (Falade and Igbeka, 2007). Ωστόσο, η παρατεταμένη ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να προκαλέσει αποκόλληση των κυττάρων.

2.6 Μαθηματική Προσομοίωση της Μεταφοράς Μάζας

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης περιγράφονται από μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί. Η απώλεια νερού (WL) και η πρόσληψη στερεών (SG), τα οποία είναι μεγέθη που χαρακτηρίζουν την ωσμωτική αφυδάτωση, εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους και υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (εξ. 2.1 και 2.2). Η επιλογή των παραμέτρων της διαδικασίας γίνεται σύμφωνα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \text{ (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) (εξ. 2.1)}$$

$$SG = \frac{m - m_o}{m_o} \text{ (g ολικών στερεών/g αρχικού ξηρού βάρους) (εξ. 2.2)}$$

Η συσχέτιση της απώλειας νερού (WL) και της πρόσληψης στερεών (SG) με τις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης γίνεται μέσω διάφορων εμπειρικών και ημι – εμπειρικών μοντέλων, τα οποία δε λαμβάνουν υπόψη την ταυτόχρονη μεταφορά διαλυμένων ουσιών από το τρόφιμο προς το διάλυμα, και περιλαμβάνουν παλινδρομήσεις πολλών μεταβλητών, την ανάλυση της επιφάνειας και τα ισοζύγια μάζας (Azuara et al., 1992, Kaymak – Ertekin and Sultanoglu, 2000, Sereno et al., 2001, Mercali et al., 2012, Herman – Lara et al., 2013). Αυτά τα μαθηματικά μοντέλα δε λαμβάνουν υπόψη την πολυπλοκότητα της διαδικασίας και η εφαρμογή τους είναι δυνατή για τις συνθήκες στις οποίες αναπτύχθηκαν (Ochoa – Martinez and Ayala – Aponte, 2007). Μπορούν να εφαρμοστούν σε μη κλασσικές γεωμετρίες και κάποια από αυτά μπορούν να προβλέψουν το σημείο ισορροπίας. Ωστόσο, πληροφορίες όπως το είδος του ιστού, οι γεωμετρικές ιδιότητες του κυττάρου, το δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης, οι μηχανικές ιδιότητες του κυτταρικού τοιχώματος, είναι σημαντικές προκειμένου να κατανοηθεί η σχέση μεταξύ δομής και ιδιοτήτων, καθώς και να γίνει εκτίμηση του ρυθμού απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών (Aguilera et al., 2000, Mebatsion et al., 2008, Mercali et al., 2012). Τα μηχανιστικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί λαμβάνοντας υπόψη το είδος της δομής ή/ και τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές προσεγγίσεις. Τα φαινομενολογικά μοντέλα μπορεί να καθορίσουν το συντελεστή διάχυσης αλλά απαιτούν τις τιμές ισορροπίας και είναι κατάλληλα μόνο για κλασσικές γεωμετρίες. Αν και παρέχουν μια καλή περιγραφή του μηχανισμού μεταφοράς μάζας, υπάρχουν πολλές παραδοχές (όπως τιμές ισορροπίας, κλασσικές γεωμετρίες, ενώ δε λαμβάνεται υπόψη η εξωτερική αντίσταση, η συρρίκνωση του δείγματος και οι αποτελεσματικές αλλαγές διάχυσης με τη θερμοκρασία), καθώς και ο υπολογισμός των δραστικών συντελεστών διάχυσης εξαρτάται έντονα από τις πειραματικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης.

Μεταξύ αυτών, το πιο χρησιμοποιούμενο μοντέλο περιλαμβάνει μια ομάδα αναλυτικών λύσεων που προτείνει ο Crank (1975), σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Fick που περιγράφει το μηχανισμό διάχυσης στην ωσμωτική αφυδάτωση σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (Assis et

al., 2015). Ο μηχανισμός της ώσμωσης περιγράφεται με την παρακάτω εξίσωση του νόμου του Fick για διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (\text{εξ. 2.3})$$

όπου, C είναι η συνολική ποσότητα της διαλυμένης ουσίας στο φρούτο τη χρονική στιγμή t (g διαλυμένης ουσίας / 100 g φρέσκων φρούτων) και t είναι ο χρόνος (min). Η ικανότητα της διάχυσης μπορεί να προσδιοριστεί αποτελεσματικά με επίλυση της εξίσωσης με τη μέθοδο Newton Raphson.

2.7 Νέες Εξελίξεις στην Ωσμωτική Αφυδάτωση

2.7.1 Εναλλακτικά Ωσμωτικά Μέσα και Διαλύματα

Η ζάχαρη ή/και τα κοινά άλατα είναι οι πιο δημοφιλείς διαλυτές ουσίες, τόσο για τους ιστούς φρούτων και λαχανικών. Τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιούνται έρευνες με σκοπό την εύρεση κατάλληλων υποκατάστατων της σακχαρόζης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ωσμωτική αφυδάτωση και να παράγουν ένα προϊόν με παρόμοια ή καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, την ανάγκη για την αντικατάσταση της σακχαρόζης εντείνει το γεγονός ότι η σακχαρόζη δεν είναι κατάλληλη για διαβητικούς ασθενείς, και άρα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες και αυτής της ειδικής καταναλωτικής ομάδας (Nambiar et al., 2016).

Η μερική αντικατάσταση της σακχαρόζης με πολυυδρικές αλκοόλες ή ιμβερτοποιημένο σάκχαρο μπορεί να βελτιώσει την υφή και την ποιότητα των αποξηραμένων τροφίμων. Η σορβιτόλη και η γλυκερόλη (κοινά υγροσκοπικά μέσα) προωθούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών), συγκριτικά με τα κοινά διαλύματα σακχαρόζης.

Η σορβιτόλη έχει χαμηλή θερμιδική αξία (2,4 kcal/g), και κατά συνέπεια καθίσταται δυνατός ο έλεγχος του βάρους, δεν προκαλεί τερηδόνα, και μειώνει την ενεργότητα του νερού. Η σορβιτόλη απορροφάται αργά, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της αύξησης της γλυκόζης του αίματος και της ανταπόκρισης στην ινσουλίνη, που σχετίζονται με την κατάποση της γλυκόζης. Παράλληλα, έχει προστατευτική δράση στο χρώμα και στην περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ του αφυδατωμένου προϊόντος (Rizzolo et al., 2007). Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τη σορβιτόλη για την ωσμωτική αφυδάτωση βερίκοκου (Ispir and Toğrul, 2009), φράουλας (Rizzolo et al., 2007), ανανά (Paul et al., 2014, Vilela et al., 2016) και πράσινης πιπεριάς (Ozdemir et al., 2008).

Η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ως πλαστικοποιητής στα τρόφιμα για τη βελτίωση της υφής τους, είναι ένα υγροσκοπικό μέσο με αντιμικροβιακές ιδιότητες (Moreira et al, 2007), ενώ η θερμιδική

αξία του είναι 4,3 kcal/g. Η γλυκερόλη έχει χρησιμοποιηθεί στην ωσμωτική αφυδάτωση κάστανου (Moreira et al., 2007), παπάγιας (Thalerngnawachart and Duangmal 2016), μανταρινιού (Therdthai et al., 2011) και πεπονιού (Sritongtae et al., 2011), όπου η γλυκερόλη συνέβαλε καλύτερα στην επιβράδυνση του μαυρίσματος.

Η μαλτοδεξτρίνη είναι ένα άγλυκο θρεπτική πολυμερές σακχαρίτη που αποτελείται από μονάδες D – γλυκόζης. Η σχετική γλυκύτητα του, συγκριτικά με τη σακχαρόζη είναι περίπου 20%, ενώ κάποιες σημαντικές λειτουργικές ιδιότητες τους είναι η διόγκωση, η ζελατινοποίηση, η παρεμπόδιση της κρυστάλλωσης, ο έλεγχος της κατάψυξης.

Ένα άλλος υδατάνθρακας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό ωσμωτικό μέσο είναι η τρεχαλόζη. Οι Vicente et al., (2012) μελέτησαν την επίδραση της γλυκόζης και της τρεχαλόζης στη δομή, τις ρεολογικές ιδιότητες και την κατάσταση της υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μήλου, και προέκυψε ότι το είδος της διαλυμένης ουσίας έχει ισχυρή επίδραση στη ρεολογική συμπεριφορά και στο φυτικό ιστό. Οι Aktas et al., (2013) απέδειξαν ότι η τρεχαλόζη μείωσε σημαντικά το χρόνο ξήρανσης, προστάτεψε το τρόφιμο από το μη – ενζυματικό μαύρισμα, καθώς και παρείχε καλύτερη ποιότητα στο προϊόν, συγκριτικά με τη σακχαρόζη.

Πρόσφατα, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τα πολυσύνθετα ωσμωτικά διαλύματα. Το μίγμα άλατος και ζάχαρης σε ένα τριαδικό διάλυμα αναφέρεται ως μία πλεονεκτική μέθοδος για την ωσμωτική αφυδάτωση σε διάφορες εφαρμογές, οδηγώντας σε υψηλότερη απώλεια νερού και πρόσληψη διαλυτών ουσιών, χωρίς να προκαλεί έντονη γλυκιά ή αλμυρή γεύση στο προϊόν (Rodrigues and Fernandes, 2007, Mercali et al., 2012). Οι μελέτες σχετικά με τη χρήση των τριμερών διαλυμάτων, που στοχεύουν στον καλύτερο έλεγχο των κύριων μαζικών ροών (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών), αποτελούν κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον στον τομέα της ωσμωτικής αφυδάτωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, ανάλογα με τη χρήση του τελικού επεξεργασμένου προϊόντος. Στο πλαίσιο αυτό, ανάλογα με τον κύριο σκοπό της ώσμωσης (αφυδάτωση, αλάτισμα, ζαχάρωμα, κλπ.), είναι πολύ σημαντική η συγκέντρωση και το είδος της ωσμωτικής διαλυμένης ουσίας.

2.7.2 Εφαρμογή Καινοτόμων Μεθόδων Επεξεργασίας Συνδυασμένες με την Ωσμωτική Αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια αργή μέθοδος επεξεργασίας, και για το λόγο αυτό προτείνεται ο συνδυασμός με άλλες μεθόδους, με σκοπό τη μεγαλύτερη κυτταρική διάρρηξη και την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Πολλές μέθοδοι έχουν πραγματοποιηθεί πριν ή ταυτόχρονα με την ωσμωτική αφυδάτωση, όπως οι υπέρηχοι, η υπερυψηλή πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία κ.α., προκειμένου να μεγιστοποιήσουν και να επιταχύνουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) ενισχύουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς διαρρηγνύουν την κυτταρική μεμβράνη. Αυτή η ενίσχυση της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση έχει μελετηθεί σε μια ποικιλία τροφίμων, όπως είναι η φράουλα, το μήλο (Taiwo et al., 2003), το ακτινίδιο (Dermesonlouoglou et al., 2016) και οι κόκκινες πιπεριές (Ade-Omowaye et al., 2003). Η ωσμωτική αφυδάτωση βελτιώνεται με τους υπερήχους, καθώς τα φαινόμενα σπηλαίωσης ενισχύουν τη μαζική μεταφοράς (Chemat et al., 2011). Στη συνδυασμένη αυτή μέθοδο υπερήχων – ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιούνται διαλύματα χαμηλότερων θερμοκρασιών για την επίτευξη αποκτήσουν μεγαλύτερων ποσοστών απώλειας υγρασίας και πρόσληψης στερεών. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και ο μικρότερη διάρκεια κατά την ωσμωτική αφυδάτωση συμβάλουν στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων, όπως το άρωμα, το χρώμα και η θρεπτική (Chemat et al., 2011). Μια σημαντική τροποποίηση που επιτυγχάνεται με γ-ακτινοβολία είναι η αύξηση της διαπερατότητας του φυτικού ιστού, η οποία οδηγεί σε σημαντική αύξηση του μαζικού ρυθμού μεταφοράς κατά τη διάρκεια της ώσμωσης (Ahmed et al., 2016).

Η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει την ενεργότητα νερού (a_w) του τροφίμου, συμβάλλοντας σημαντικά στη σταθερότητά του, χωρίς ωστόσο να παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Έτσι, η ωσμωτική αφυδάτωση συχνά συνδυάζεται με άλλες μεθόδους, όπως η υψηλή υδροστατική πίεση (HHP) (Ciurzyńska et al., 2016). Πολλές μελέτες έχουν πρόσφατα δημοσιευθεί σχετικά με την εφαρμογή αυτής της συνδυασμένης μεθόδου, η οποία πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά στάδια. Αρχικά λαμβάνει χώρα η εφαρμογή της υψηλής υδροστατικής πίεσης και ακολουθεί η ώσμωση, εστιάζοντας στην αύξηση της μαζικής μεταφοράς (Rastogi et al., 2002). Ένας άλλος στόχος της συνδυασμένης μεθοδολογίας είναι να μεταβάλει τα λειτουργικά, τα θρεπτικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, παράγοντας ένα πιο σταθερό τρόφιμο.

2.8 Η Ωσμωτική Αφυδάτωση ως προ – Κατεργασία της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα

Η πιο κοινή μέθοδος συμβατικής ξήρανσης είναι η ξήρανση με θερμό αέρα (hot air drying). Σε αυτή τη μέθοδο η θέρμανση του αέρα γίνεται με την καύση ορυκτών καυσίμων ή με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την ξήρανση διαφόρων φρούτων και λαχανικών, με συνδυασμό της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης με θερμό αέρα. Οι έρευνες αυτές, αποδεικνύουν πως η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – κατεργασία της συμβατικής ξήρανσης συμβάλλει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (Σχήμα 2.2) και αυξάνει την απόδοση της συνολικής διεργασίας.



(α)

(β)

Σχήμα 2.2: (α) Τελικά προϊόντα τροφίμων ξήρανσης με θερμό αέρα και (β) τελικά προϊόντα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι πιο αποδοτική όταν χρησιμοποιούνται διαλύματα με υψηλή περιεκτικότητα σε σακχαρόζη (70 °Brix), επομένως είναι εξαιρετικά χρήσιμη διεργασία διότι μειώνει το χρόνο και άρα το κόστος της ξήρανσης. Έτσι, αυξάνεται η συνολική παραγωγικότητα (Fernandes et al., 2006). Οι Garcia et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ξήρανση με θερμό αέρα σε φέτες κολοκύθας. Αρχικά, τα δείγματα αφυδατώθηκαν σε διαλύματα σακχαρόζης (40%, 50% και 60%, v/v, 27°C) και ακολούθησε ξήρανση με θερμό αέρα (50 και 70°C), κατά την οποία διατηρείται σταθερή η ταχύτητα του αέρα. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης αυξάνεται η διάχυση του νερού. Ο συντελεστής διάχυσης της υγρασίας ήταν μεγαλύτερος για τα δείγματα που υπέστησαν προ – επεξεργασία. Οι Bchir et al., (2010) μελέτησαν την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – επεξεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα σε σπόρους ροδιού. Η ξήρανση των σπόρων ροδιού πραγματοποιήθηκε στις θερμοκρασίες 40, 50 και 60 °C με ταχύτητα αέρα 2 m/sec. Πριν από την ξήρανση, οι σπόροι ωσμω – αφυδατώθηκαν σε διάλυμα σακχαρόζης (55°Brix) για 20 min στους 50 °C. Μετά την ξήρανση προσδιορίστηκε η δραστηριότητα των ενζύμων οξειδάση της πολυφαινόλης και η συγκέντρωση της υδροξυμεθυλοφορφοϋράλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο οι ενζυμικές όσο και μη ενζυμικές αντιδράσεις (Maillard) δεν είχαν καμία επίδραση στο μαύρισμα του τροφίμου. Επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση ως προ – κατεργασία συντελεί στη σταθερότητα χρώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΛΜΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (PEF)

3.1 Εισαγωγή

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών για προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας, σε συνδυασμό με την έρευνα για τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων φιλικών προς το περιβάλλον, βοήθησε στην ανάπτυξη μη θερμικών τεχνολογιών όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) αποτελούν μια μη θερμική μέθοδο συντήρησης των τροφίμων που χρησιμοποιεί σύντομους παλμούς με ελάχιστες αρνητικές συνέπειες για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Η τεχνολογία PEF έχει ως στόχο να προσφέρει στους καταναλωτές τρόφιμα υψηλής ποιότητας. Η τεχνολογία PEF θεωρείται ανώτερη των συμβατικών μεθόδων θερμικής επεξεργασίας καθώς περιορίζει σημαντικά τις επιζήμιες αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις φυσικές ιδιότητες των τροφίμων (Barbosa – Canovas et al., 1999).

Μία από τις πρώτες εφαρμογές του ηλεκτρικού ρεύματος στην επεξεργασία τροφίμων ήταν η αποστείρωση του γάλακτος το 1920 με τη διαδικασία «ElectroPure». Αυτή η διαδικασία στόχευε στην αδρανοποίηση των *Mycobacterium tuberculosis* και *Escherichia coli* (Vega – Mercado et al., 1997). Οι Wouters et al. (2001) ανέφεραν ότι, η τεχνολογία PEF θεωρείται ως μία από τις πλέον υποσχόμενες μη θερμικές μεθόδους για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Εκτός από την επίδραση στον έλεγχο της μικροβιακής ασφάλειας των τροφίμων με ένα γρήγορο και ομοιογενή τρόπο, η τεχνολογία PEF συμβάλλει στην επέκταση του χρόνου ζωής των τροφίμων χωρίς τη χρήση θερμότητας, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της ποιότητας και της θρεπτικής αξίας.

Η επιτυχής εφαρμογή της τεχνολογίας PEF αποτελεί μια εναλλακτική λύση που αντικαθιστά τις συμβατικές μεθόδους θερμικής επεξεργασίας των υγρών προϊόντων τροφίμων, όπως οι χυμοί φρούτων και το γάλα (Mertens and Knorr, 1992, Bendicho et al., 2002, Hodgins et al., 2002).

Υπάρχει περιορισμένη εμπορική διαθεσιμότητα των συστημάτων επεξεργασίας με την τεχνολογία PEF λόγω του υψηλού αρχικού κόστους. Το αρχικό κόστος επένδυσης της τεχνολογίας αυτής είναι υψηλότερο συγκριτικά με άλλα συστήματα επεξεργασίας τροφίμων όπως η κατάψυξη. Ο περιορισμός απόκτησης των συστημάτων PEF συνέβαλαν επομένως στη μείωση της εφαρμογής τους στην επεξεργασία των τροφίμων. Ως εκ τούτου, ένα μεγάλο μέρος της βιομηχανίας τροφίμων έχει επιλέξει να χρησιμοποιεί συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας στα τρόφιμα, όπως η κονσερβοποίηση και η ψύξη, σε αντίθεση με την εφαρμογή της PEF τεχνολογίας (Stoica, et al., 2013).

3.2 Αρχή Λειτουργίας PEF

Η βασική αρχή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) είναι η εφαρμογή μικρής διάρκειας παλμών υψηλού ηλεκτρικού πεδίου ($\mu\text{s} - \text{ms}$) με ένταση που κυμαίνεται από $100 - 300 \text{ V/cm}$ μέχρι και τα $20 - 80 \text{ kV/cm}$ (Fincan and Dejmek, 2002, Koubaa et al., 2015). Σε υψηλά ηλεκτρικά πεδία ($> 20 \text{ kV / cm}$), μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση στη συμβατική θερμική επεξεργασία για την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών και ενζύμων που σχετίζονται με την ποιότητα, με ελάχιστη μεταβολή στις ιδιότητες των υγρών τροφίμων (Sánchez-Vega et al., 2015).

Η διαδικασία βασίζεται στα παλμικά ηλεκτρικά ρεύματα που μεταδίδονται σε ένα προϊόν, το οποίο τοποθετείται μεταξύ ενός συνόλου ηλεκτροδίων. Η διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του τροφίμου οφείλεται στην παρουσία πολλών ιόντων, προσδίδοντας στο εν λόγω προϊόν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι, όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, ηλεκτρικό ρεύμα με τη μορφή παλμών ρέει εντός του τροφίμου και μεταφέρεται σε κάθε σημείο του, λόγω των φορτισμένων μορίων που υπάρχουν (Mohamed and Amer – Eissa, 2012).

Η αρχή λειτουργίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι απλή: ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής ισχύος συλλέγεται και αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή. Έπειτα, η ίδια ενέργεια εκτονώνεται σχεδόν ακαριαία σε πολύ υψηλά επίπεδα ισχύος. Η παραγωγή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων απαιτεί την ύπαρξη δύο κύριων συσκευών: μια τροφοδοσία παλμικής ενέργειας και ένα θάλαμο επεξεργασίας, που μετατρέπει την τάση σε παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Vega-Mercado et al., 2007).

3.3 Παράμετροι Λειτουργίας

Οι πιο χαρακτηριστικές παράμετροι της διαδικασίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι: η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E), ο χρόνος επεξεργασίας (t), το σχήμα του παλμού, το πλάτος παλμού (τ), ο αριθμός των παλμών (n), η ειδική ενέργεια του παλμού (W) και η συχνότητα επανάληψης παλμών (f).

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο χρόνος επεξεργασίας είναι οι κύριες παράμετροι της διαδικασίας.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αναφέρεται στην ένταση του πεδίου στο θάλαμο επεξεργασίας, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του δείγματος. Εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, η γεωμετρία του θαλάμου επεξεργασίας και την κατανομή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του υλικού μεταξύ των ηλεκτροδίων (Raso et al., 2016). Στην περίπτωση των παράλληλων ηλεκτροδίων, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται εντός

του χώρου είναι ομοιογενές και η τιμή του μπορεί να υπολογισθεί διαιρώντας την τάση (V) που μετράται στα άκρα των ηλεκτροδίων στο θάλαμο επεξεργασίας, με την απόσταση των ηλεκτροδίων (d):

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{εξ. 3.1})$$

Το πλάτος ή διάρκεια του παλμού

Για ένα τετραγωνικό παλμό ως πλάτος ή διάρκεια παλμού ορίζεται ο χρόνος που η τάση διατηρείται στη μέγιστη τιμή της. Στην περίπτωση της εκθετικής μείωσης, το πλάτος του παλμού ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση της τάσης στο 37% της μέγιστης τιμής (Σχήμα 3.2).

Ο χρόνος επεξεργασίας

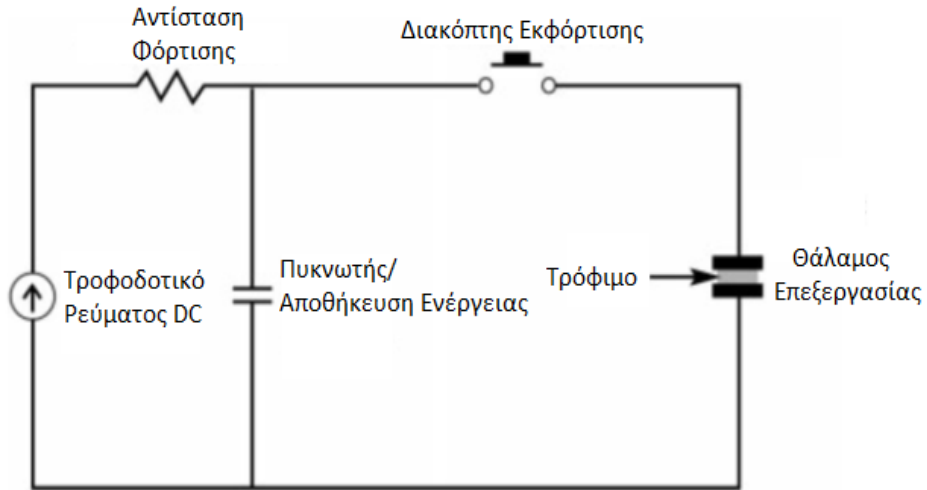
Ο χρόνος επεξεργασίας προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του αριθμού των παλμών με το πλάτος του παλμού:

$$t = n \cdot \tau \quad (\text{εξ. 3.2})$$

όπου το πλάτος του παλμού τ εξαρτάται από το σχήμα του παλμού.

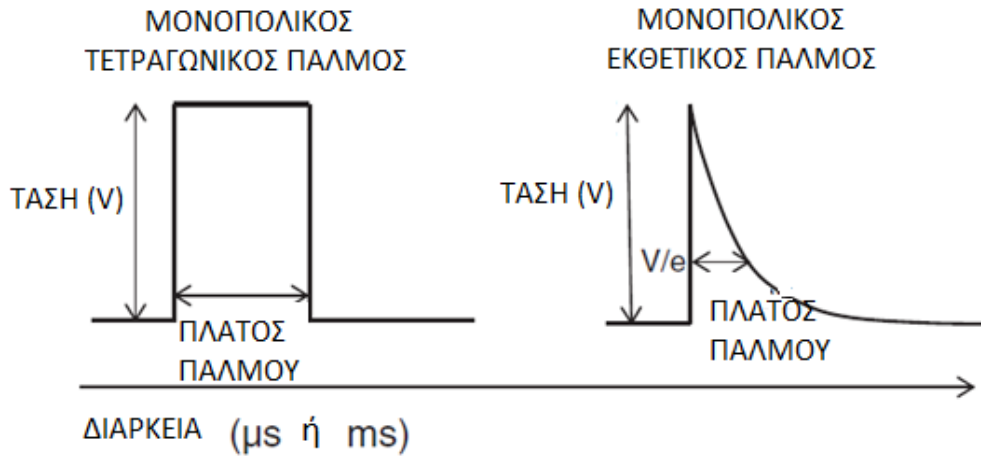
Το σχήμα του παλμού

Το σχήμα των παλμών που χρησιμοποιείται κατά την τεχνολογία PEF είναι αυτό της εκθετικής μείωσης, των τετραγωνικών κυματομορφών, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται και οι διπολικοί παλμοί και οι παλμοί ταλάντωσης. Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται ένα απλό σύστημα παραγωγής παλμών εκθετικής μείωσης. Οι εκθετικές κυματομορφές χαρακτηρίζονται από μια ταχεία αύξηση στην επιθυμητή τάση, η οποία ακολουθείται από βραδεία μείωση προς το μηδέν (Leadley and Williams, 2006). Αυτή η κυματομορφή έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους ερευνητές, είναι σχετικά απλό να δημιουργηθεί και να τροποποιηθεί. Οι τετραγωνικές κυματομορφές χρησιμοποιούνται αρκετά σε πολλές μελέτες σχετικά με την επεξεργασία PEF, αν και είναι πιο δύσκολη η παραγωγή τους. Και οι δύο μορφές παλμών είναι κατάλληλες για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι οι τετραγωνικές κυματομορφές είναι πιο αποτελεσματικές και γενικά θεωρούνται καλύτερη επιλογή εκ των δύο, διότι η μέγιστη τάση διατηρείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό, τι στην εκθετική μορφή και είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικές (Leadley and Williams, 2006).



Σχήμα 3.1: Βασικό κύκλωμα εκθετικής κυματομορφής

ΣΧΗΜΑ ΠΑΛΜΟΥ



Σχήμα 3.2: Οι παλμοί που χρησιμοποιούνται κυρίως στην τεχνολογία PEF

Η συχνότητα επανάληψης των παλμών

Η συχνότητα δηλώνει τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται ανά μονάδα χρόνου, και μετριέται σε Hz (αριθμός παλμών/s). Η συχνότητα του παλμού είναι σημαντική, δεδομένου ότι προσδιορίζει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παραδίδεται ανά μονάδα χρόνου στο προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας, η οποία, με τη σειρά της, επηρεάζει την θερμοκρασιακή αύξηση του επεξεργασμένου προϊόντος λόγω του φαινομένου Joule (Raso et al., 2016).

Η ειδική ενέργεια των παλμών

Η ειδική ενέργεια (W , kJ/kg/pulse) αφορά στην ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει το προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας ανά παλμό και εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του προς επεξεργασία προϊόντος και από το σχήμα του παλμού (συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης τάσης και του πλάτους του παλμού). Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του προϊόντος μεταβάλλονται κατά την επεξεργασία PEF. Πιο συγκεκριμένα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται λόγω της ηλεκτροδιάτρησης της μεμβράνης και της διάχυσης ιόντων από τα κύτταρα στο νερό ή σε κάποιο άλλο μέσο χαμηλής αγωγιμότητας (Raso et al., 2016). Η ειδική ενέργεια ανά παλμό υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$W = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} V(t) \cdot I(t) dt \quad (\text{εξ. 3.3})$$

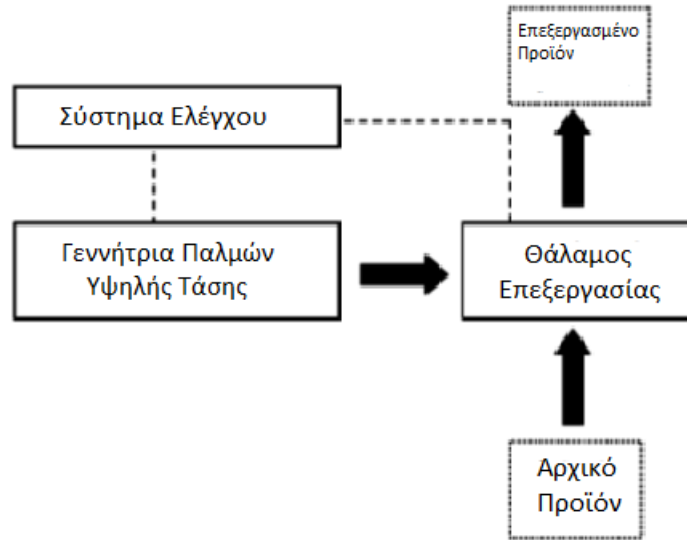
όπου m η μάζα του δείγματος, $V(t)$ η τάση στα άκρα του θαλάμου επεξεργασίας και $I(t)$ το ρεύμα που διαπερνά το θάλαμο επεξεργασίας τη χρονική στιγμή t .

Η συνολική ειδική ενέργεια (W_T , kJ/kg) μπορεί να υπολογισθεί πολλαπλασιάζοντας την ειδική ενέργεια ανά παλμό W με τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται:

$$W_T = W \cdot n \quad (\text{εξ. 3.4})$$

3.4 Εξοπλισμός

Ένα σύστημα επεξεργασίας τροφίμων PEF, αποτελείται γενικά από τρία βασικά μέρη: μια γεννήτρια παλμών υψηλής τάσης, ένα θάλαμο επεξεργασίας και ένα σύστημα ελέγχου για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραμέτρων της διαδικασίας (Σχήμα 3.3) (De Vito, 2005).



Σχήμα 3.3: Σχεδιάγραμμα του συστήματος επεξεργασίας PEF

Η Γεννήτρια των Παλμών Υψηλής Τάσης

Η γεννήτρια παράγει ηλεκτρικούς παλμούς κατάλληλης τάσης, σχήματος και διάρκειας χρησιμοποιώντας ένα περισσότερο ή λιγότερο πολύπλοκο δίκτυο σχηματισμού των παλμών. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από διάφορα μέρη: ένα ή περισσότερα τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος, μια αντίσταση (charging resistor), μία συστοιχία πυκνωτών που συνδέονται παράλληλα, έναν ή περισσότερους διακόπτες, και επαγωγείς και αντιστάσεις.

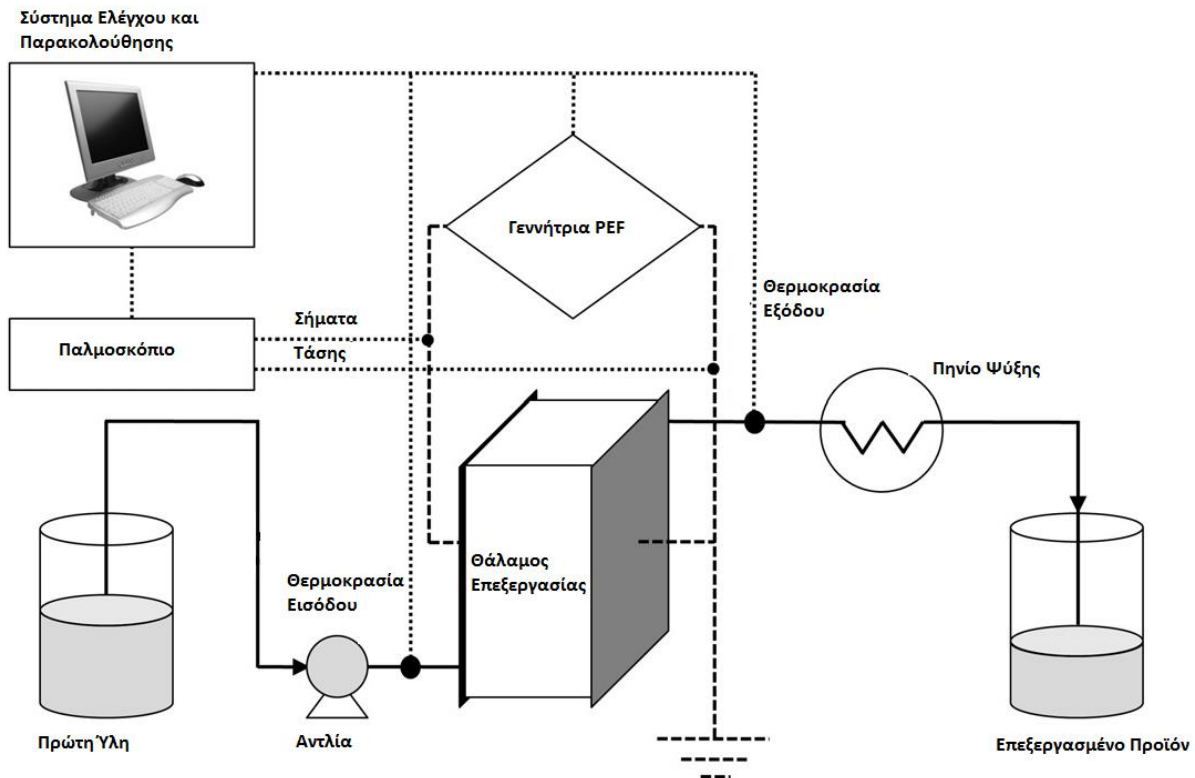
Η ενέργεια που παρέχεται από το τροφοδοτικό αποθηκεύεται προσωρινά στους πυκνωτές και στη συνέχεια μεταδίδονται με τη μορφή παλμών στο τρόφιμο, δημιουργώντας έτσι το κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο. Η συνολική ονομαστική ισχύς του τροφοδοτικού περιορίζει τον μέγιστο αριθμό των φορών που ο πυκνωτής μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (De Vito, 2005).

Ο Θάλαμος Επεξεργασίας

Έχουν σχεδιαστεί διάφοροι θάλαμοι επεξεργασίας PEF και κυρίως χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακή κλίμακα. Οι θάλαμοι επεξεργασίας μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν σε διαλείποντος έργου και συνεχής λειτουργίας (FDA, 2015). Οι πρώτοι θάλαμοι που σχεδιάστηκαν ήταν για διεργασίες διαλείποντος έργου και χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια σε παράλληλες πλάκες

που διαχωρίζονται από ένα μονωτικό υλικό. Εναλλακτικά, ο θάλαμος έχει σχήμα U και είναι από πολυστυρένιο (Leadley and Williams, 2006).

Παρακάτω απεικονίζεται ένα διάγραμμα συστήματος επεξεργασίας PEF συνεχής ροής (Σχήμα 3.4). Η συσκευή αποτελείται από πέντε κύρια συστατικά: μια παροχή ρεύματος υψηλής τάσης, ένα πυκνωτή αποθήκευσης ενέργειας, ένα θάλαμο επεξεργασίας, μια αντλία, το ψυκτικό της συσκευής, συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας, και έναν υπολογιστή για τον έλεγχο των εργασιών.



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ροής ενός συστήματος επεξεργασίας PEF (Ortega – Rivas et al., 1998)

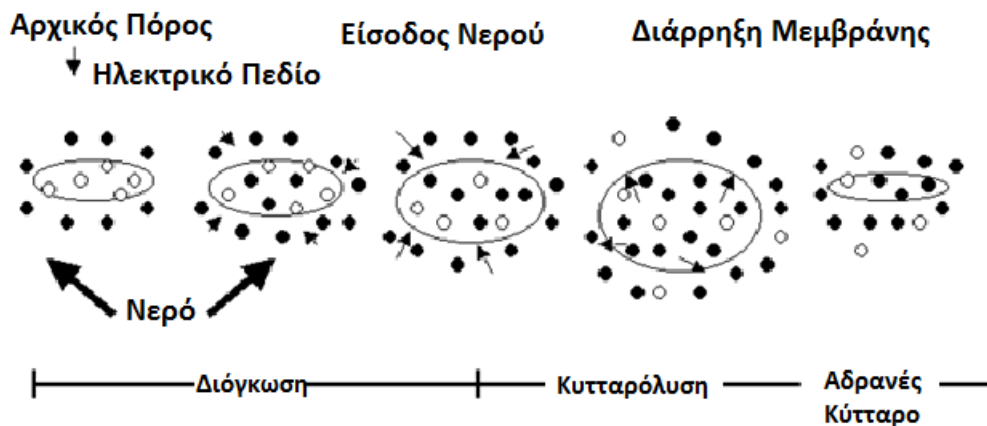
Το Σύστημα Ελέγχου

Οι παράμετροι της διεργασίας μπορούν να παρακολουθούνται από το σύστημα ελέγχου που αποτελείται από δύο κύριες συσκευές: έναν παλμοσκόπιο και έναν καταγραφικό θερμοκρασίας. Το παλμοσκόπιο μετρά την τάση κατά μήκος του θαλάμου επεξεργασίας και δείχνει το σχήμα της τάσης εξόδου. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, το παλμοσκόπιο θα πρέπει να τοποθετείται σε μια προστατευμένη περιοχή. Η θερμοκρασία του

δείγματος μετρίεται με ένα θερμοστοιχείο που τοποθετείται μέσα στο θάλαμο επεξεργασίας (De Vito, 2005).

3.5 Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στην Κυτταρική Μεμβράνη

Κατά την εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε ένα φυτικό ιστό η τάση εφαρμόζεται στο σύνολο του ιστού (De Vito, 2005). Το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα είναι η ηλεκτροδιάτρηση των κυττάρων. Η έκθεση των κυττάρων σε ηλεκτρικούς παλμούς υψηλής τάσης προκαλεί την προσωρινή αποσταθεροποίηση της λιπιδικής διπλοστιβάδας και των πρωτεϊνών της κυτταρικής μεμβράνης (FDA, 2015). Η πλασματική μεμβράνη των κυττάρων γίνεται διαπερατή σε μικρά μόρια, με αποτέλεσμα τη διόγκωση και την ενδεχόμενη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (Σχήμα 3.5). Η κύρια επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου σε ένα κύτταρο μικροοργανισμού είναι η αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης λόγω της συμπίεσης και της δημιουργίας πόρων. Αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και η διάρκεια παλμού έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων πόρων.



Σχήμα 3.5: Ηλεκτροδιάτρηση της κυτταρικής μεμβράνης

Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού διάρρηξης του κυττάρου, έχει ορισθεί η τιμή Z_p . Η τιμή του Z_p υπολογίζεται με βάση τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του μη επεξεργασμένου δείγματος (Z_{untr}) και του επεξεργασμένου με PEF δείγματος (Z_{tr}) στη χαμηλή (1 kHz) και υψηλή (1 MHz) περιοχή συχνοτήτων (Donsi et al., 2010, Pataro et al., 2011):

$$Z_p = \frac{|Z_{untr(1\text{ kHz})} - Z_{tr(1\text{ kHz})}|}{|Z_{untr(1\text{ kHz})} - Z_{tr(1\text{ MHz})}|} \quad (\text{εξ. 3.5})$$

Η τιμή του συντελεστή Z_p κυμαίνεται μεταξύ του 0 για άθικτου ιστό και 1 για πλήρως διαπερατό ιστό.

Η ηλεκτροδιάτρηση της κυτταρικής μεμβράνης του τροφίμου είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό του θαλάμου επεξεργασίας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις επιφάνειες του ηλεκτροδίου, λόγω της αυξημένης πίεσης, οδηγώντας σε εκρήξεις και στη δημιουργία φυσαλίδων αερίου. Απαιτείται λοιπόν ένας επιτυχής σχεδιασμός όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή θέρμανση του προϊόντος (Mohamed and Amer – Eissa, 2012).

3.6 Η Τεχνολογία PEF ως Μέθοδος προ – Επεξεργασίας

Η αφυδάτωση αποτελεί μια εκ των παλαιότερων μεθόδων προστασίας των προϊόντων τροφίμων. Σήμερα, στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται η ξήρανση με θερμό αέρα και η ξήρανση υπό κατάψυξη για την παραγωγή αφυδατωμένων προϊόντων. Ο ρυθμός της ξήρανσης καθορίζεται από το ρυθμό απομάκρυνσης της υγρασίας από τον πυρήνα στην επιφάνεια του τροφίμου. Ως εκ τούτου, η επιταχυνόμενη μεταφορά μάζας θα ωφελούσε τη διεργασία σχετικά με τη μείωση του χρόνου ξήρανσης, τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος τροφίμου.

Σήμερα, η μηχανική τροφίμων εστιάζει το ενδιαφέρον της στα παλμικά ηλεκτρικά πεδία ως μέθοδος προ – κατεργασίας για την ενίσχυση της εκχύλισης, της ωσμωτικής αφυδάτωσης της ξήρανσης και της κατάψυξης (Vorobien and Lebonka, 2006). Τα κύρια πλεονεκτήματά της έναντι των συμβατικών μεθόδων προ- επεξεργασίας είναι:

- 1) Ο αυξημένος ρυθμός κατά τη μεταφορά μάζας.
- 2) Ο μειωμένος χρόνος της διεργασίας.
- 3) Η μείωση του κόστους της ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- 4) Ο περιορισμός υποβάθμισης των θερμο – ευαίσθητων ενώσεων (π.χ., πρωτεΐνες, το άρωμα της γεύσης (flavor)).

3.6.1 PEF και Ωσμωτική Αφυδάτωση

Οι Jemai and Vorobien (2003) ανέφεραν ότι, η χρήση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) ως μέθοδος προ - επεξεργασίας μπορεί να είναι αποτελεσματική στην απομάκρυνση του νερού και στη μεταφορά μάζας, ιδιαίτερα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση του καρπού.

Η τεχνολογία PEF έχει εφαρμοστεί με επιτυχία ως προ – κατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πολλά τρόφιμα, όπως μήλα, καρότα, μάνγκο, κόκκινες πιπεριές, μύρτιλλα και ακτινίδιο (Ade – Omowaye et al., 2001, 2002, 2003, Taiwo et al., 2003, Amami et al., 2006, 2007, Bobinaite et al., 2015, Dermensolouoglou et al., 2016).

Οι Wiktor et al. (2015) έδειξαν ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας PEF σε καρότα σε ένταση 1,85 kV/cm οδήγησε σε αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας έως και 11,34%, ενώ για τα μήλα επιτεύχθηκε αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες και αντιοξειδωτικά.

Οι Amami et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση ηλεκτρικών κυμάτων υψηλής ισχύος ως προ – κατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε καρότα. Η προ – επεξεργασία στο δείγμα διευκόλυνε τη μεταφορά μάζας, με αύξηση μέχρι και 42% στην απώλεια υγρασίας σε σύγκριση με το δείγμα αναφοράς. Προκειμένου να ερμηνεύσουν το μηχανισμό που διέπει τη διαδικασία, οι Amami et al., (2006) επεξεργάστηκαν δείγματα μήλου με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, και κατόπιν ακολούθησε ωσμωτική αφυδάτωση σε υδατικά διαλύματα σακχαρόζης με συγκέντρωση 44,5 – 65 °Brix. Οι συγγραφείς βρήκαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος και η προ – επεξεργασία με PEF οδήγησε σε επιτάχυνση της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η επίδραση της προ – κατεργασίας ήταν εντονότερη για την απώλεια νερού συγκριτικά με την πρόσληψη στερεών ουσιών.

Οι Ade – Omawaye et al. (2001) πρότειναν ότι η προ – κατεργασία με PEF μπορεί να είναι μια καλή λύση για την επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα το μαλάκωμα των ιστών, την ενζυμική αμαύρωση. Ωστόσο, οι Amami et al. (2014) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επεξεργασία με PEF για τα μήλα προκάλεσαν εκτεταμένη αμαύρωση, λόγω της οξειδωτικής αντίδρασης. Αντίθετα, τέτοια επίδραση δεν παρατηρήθηκε στα καρότα, και η φωτεινότητα των δειγμάτων αυξήθηκε ελαφρά. Επίσης, για τα επεξεργασμένα δείγματα μπανάνας η φωτεινότητα ήταν υψηλότερη από ό, τι στα μη – επεξεργασμένα δείγματα. Οι περισσότερες έρευνες υποστηρίζουν ότι το χρώμα βελτιώθηκε με την επεξεργασία με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

3.6.2 PEF και Ξήρανση

Η ξήρανση είναι μια από τις αρχαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων. Η διεργασία της ξήρανσης βασίζεται στην απομάκρυνση του νερού με εξάτμιση και τη μείωση της ενεργότητας νερού του υλικού, με σκοπό να αναστείλει μικροβιακή δραστηριότητα ή να επιβραδύνει τις ενζυμικές και άλλες χημικές αντιδράσεις. Επίσης, μειώνει την συνολική μάζα και τον όγκο των αποξηραμένων τελικών προϊόντων.

Παρουσιάζει σημαντικό όφελος όσον αφορά στη δυνατότητα της αξιοποίησης του πλεονάσματος καλλιεργειών, ιδίως αν ληφθεί υπόψη η οικονομική δυσχέρεια των αναπτυσσόμενων χωρών. Σήμερα, τα αποξηραμένα τρόφιμα χρησιμοποιούνται ως συστατικά άλλων τροφίμων, τα οποία είναι έτοιμο προς μαγείρεμα ή έτοιμα προς κατανάλωση (τριτογενής επεξεργασμένα τρόφιμα). Υπάρχει αυξανόμενη καταναλωτική ζήτηση για αποξηραμένα προϊόντα διατροφής με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας και υψηλή θρεπτική αξία.

Οι παραγωγοί τροφίμων, επομένως, αναζητούν τρόπους για να μειώσουν το κόστος παραγωγής και να συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος. Η διαδικασία ξήρανσης μπορεί να διαιρεθεί σε τρία βήματα: 1) την επεξεργασία πριν την ξήρανση, 2) την αφυδάτωση και 3) τη διαχείριση του προϊόντος μετά την ξήρανση (π.χ. συσκευασία) (Lewicki, 2006). Κάθε ένα από αυτά τα βήματα έχει αντίκτυπο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, και έτσι είναι δύσκολο να διακρίνει το καθοριστικό.

Στην ξήρανση με θερμό αέρα η μεταφορά της υγρασίας πραγματοποιείται σε δύο διαδοχικά στάδια: 1) από το εσωτερικό του ιστού στην επιφάνεια (εσωτερική μεταφορά υγρασίας) και 2) από την επιφάνεια στον κύριο αέριο χώρο (επιφανειακή μεταφορά υγρασίας). Στο δεύτερο στάδιο της ξήρανσης η εσωτερική μεταφορά υγρασίας είναι μικρότερη από την επιφανειακή. Σε αυτό το στάδιο, η κυτταρική δομή και ο ιστός έχουν πολύ σημαντική σημασία, διότι αποτελούν ένα εμπόδιο για τη διεργασία. Η μεταφορά της θερμότητας και της μάζας δεν εξαρτάται μόνο από τις παραμέτρους της διεργασίας αλλά επίσης και από τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης (Jager et al., 2014). Ως εκ τούτου, ο σκοπός της προ-κατεργασίας είναι να διαταράξει την κυτταρική δομή, ώστε να μειωθεί η αντίσταση στη διάχυση. Η τεχνολογία PEF μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια προ-κατεργασία της συμβατικής ξήρανσης, με στόχο τη μείωση ή την εξάλειψη μερικών μειονεκτημάτων των συμβατικών μεθόδων προ-επεξεργασίας, κυρίως λόγω της ικανότητάς να διαρρηγνύει τα κύτταρα των υλικών τροφίμων.

Έχει αναφερθεί ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας PEF πριν από την ξήρανση μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματική διάχυση του νερού σε σύγκριση με το ανεπεξέργαστο υλικό. Οι Lebonka et al. (2007) διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματική διάχυση είναι συνάρτηση του δείκτη διάσπασης των κυττάρων. Ακολούθως, ερευνήθηκε η επίδραση των μεθόδων της απόψυξης (freeze – thawing), της τεχνολογίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της θερμικής προ-κατεργασίας στη διεργασία της ξήρανσης σε δείγματα πατάτας. Τελικά, μεγαλύτερη τιμή συντελεστή διάχυσης είχαν τα δείγματα της απόψυξης, ενώ η θερμική προ-κατεργασία εμφάνισε θετικά αποτελέσματα μόνο σε ήπιες θερμοκρασίες (50 °C). Τόσο τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, όσο και η θερμική προ-κατεργασία είχαν ως αποτέλεσμα την ίδια αύξηση στο συντελεστή διάχυσης κατά την ξήρανση των δειγμάτων με θερμό αέρα.

Αν και οι πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη θρεπτική αξία των ξηρών προϊόντων είναι περιορισμένη, μπορεί να αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C στα επεξεργασμένα δείγματα είναι αμετάβλητη σε σύγκριση με τα ανεπεξέργαστα (Ade-Omowaye et al., 2001).

Άλλα στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία PEF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων (π.χ. πολυφαινόλες ή καροτενοειδή) (Wiktor et al., 2015) από στερεά δείγματα. Μια τέτοια συμπεριφορά δείχνει ότι η διατήρηση αυτών των ενώσεων μετά

την ξήρανση θα ήταν υψηλότερη στην περίπτωση των επεξεργασμένων υλικών με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε εν μέρει από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται από τους Ade – Omowaye et al. (2001), οι οποίοι δήλωσαν ότι η μείωση του β – καροτένιου σε ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα κόκκινης πιπεριάς, που είχαν υποστεί επεξεργασία με PEF, ήταν ελάχιστη.

3.7 Η Επίδραση της Τεχνολογίας PEF στις Αντιοξειδωτικές Ουσίες

Τα οφέλη στην υγεία από την κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, αποδίδονται κυρίως στην παρουσία βιοδραστικών συστατικών. Τα φρέσκα φρούτα και λαχανικά δε μπορούν να διατηρηθούν για αρκετό διάστημα, ως εκ τούτου είναι αναγκαία η επεξεργασία τους συνήθως με μια θερμική μέθοδο προκειμένου να επεκταθεί η διάρκεια ζωής τους. Τα αντιοξειδωτικά συστατικά, όπως είναι η βιταμίνη C, οι ανθοκυάνες, το λυκοπένιο, οι φαινολικές ενώσεις και τα καροτενοειδή είναι ευαίσθητα στη θέρμανση. Επομένως, η θερμική επεξεργασία μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια των βιοδραστικών ουσιών.

Έρευνες δείχνουν ότι η μέθοδος PEF έχει πολύ μικρή επίδραση στα βιοδραστικά συστατικά. Τα τελευταία χρόνια, οι έρευνες εστιάζουν στην παραγωγή υγρών προϊόντων με υψηλή συγκέντρωση σε βιοδραστικά συστατικά, μέσω της τεχνολογίας PEF. Αρκετοί ερευνητές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στις βιταμίνες και ειδικότερα στη βιταμίνη C, καθώς είναι θερμικά – ασταθής, ειδικότερα όταν εκτίθεται σε οξειδωτικό περιβάλλον (Elez – Martinez et al., 2012). Τα αποτελέσματα διάφορων ερευνών δείχνουν ότι η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα σε αφεψήματα που παστεριώθηκαν με τη μέθοδο PEF και σε προϊόντα που ετοιμάστηκαν εκείνη τη στιγμή, όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε βιταμίνη C κυμαίνεται από 0 – 10 %, ανάλογα με το προϊόν και τις συνθήκες επεξεργασίας (Elez – Martinez et al., 2012). Οι Yeom et al. (2000) εφάρμοσαν ένταση 35 kV/cm για 59 μs σε χυμό πορτοκάλι και διαπίστωσαν ότι η παστερίωση με PEF απέτρεψε την ανάπτυξη των μικροοργανισμών μέχρι και 112 ημέρες, όπως και στην παστερίωση με θερμική επεξεργασία. Ωστόσο, η βιταμίνη C διατηρήθηκε σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα με τη μέθοδο PEF. Ομοίως, οι Min et al. (2003) εφάρμοσαν σε χυμό τομάτας πεδίο έντασης 40 kV/cm για 57 μs, με αποτέλεσμα την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών καθώς και τη διατήρηση της συγκέντρωσης του ασκορβικού οξέος, σε αντίθεση με τα δείγματα που υπέστησαν θερμική επεξεργασία.

Οι Morales – de la Pena et al. (2010) εφάρμοσαν ηλεκτρικό πεδίο υψηλής έντασης σε ρόφημα που περιείχε χυμό φρούτου και γάλα σόγιας και αξιολόγησαν το μικροβιακό φορτίο, τα αντιοξειδωτικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και σύγκριναν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που έδωσε το προϊόν που είχε υποστεί θερμική επεξεργασία. Κατά την επεξεργασία PEF εφαρμόστηκε στο προϊόν διπολικός παλμός με συχνότητα 200 Hz, πλάτος 4 μs, ένταση 35 kV/cm για 800 – 1400 μs. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας (1400 μs)

οδήγησε στην παράταση του χρόνου ζωής κατά 25 ημέρες (συνολικά 56 ημέρες). Την ίδια διάρκεια ζωής παρείχε και η θερμική παστερίωση του προϊόντος στη θερμοκρασία των 90 °C για 60 s. Όπως αναμενόταν, η βιταμίνη C και η αντιοξειδωτική δράση μειώθηκε κατά την αποθήκευση, ωστόσο στην περίπτωση της επεξεργασίας PEF ο ρυθμός μείωσης ήταν μικρότερος.

3.8 Μειονεκτήματα και Περιορισμοί

Αν και έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά στην τεχνολογία PEF υπάρχουν αρκετά σημεία που πρέπει να ερευνηθούν, προκειμένου να επιτρέψουν την εφαρμογή της διεργασίας σε βιομηχανική κλίμακα.

Μερικά από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας PEF είναι (FDA, 2015):

- 1) Η περιορισμένη διαθεσιμότητα αυτών των μονάδων στο εμπόριο.
- 2) Η παρουσία φυσαλίδων μπορεί να οδηγήσει σε μη ομοιόμορφη επεξεργασία του δείγματος, καθώς και να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία και την ασφάλεια του συστήματος. Γενικά, η μέθοδος PEF δεν είναι κατάλληλη για τα περισσότερα στερεά τρόφιμα λόγω του ότι περιέχουν φυσαλίδες αέρα όταν τοποθετούνται στο θάλαμο επεξεργασίας.
- 3) Η εφαρμογή της περιορίζεται σε προϊόντα διατροφής που αντέχουν στα υψηλά ηλεκτρικά πεδία. Η διηλεκτρική ιδιότητα ενός τροφίμου είναι στενά συνδεδεμένη με τη φυσική δομή και τη χημική σύνθεση. Τα ομοιογενή υγρά με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ιδανικά για επεξεργασία με τη μέθοδο PEF. Τα προϊόντα διατροφής, στα οποία απουσιάζει το αλάτι, έχουν αγωγιμότητα από 0,1 έως 0,5 S/m. Τα προϊόντα με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνουν την αντίσταση του θαλάμου και κατά συνέπεια απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό πεδίο.
- 4) Το μέγεθος των σωματιδίων των υγρού τροφίμων. Το μέγιστο μέγεθος των σωματιδίων στο υγρό πρέπει να είναι μικρότερο από το διάκενο στην περιοχή επεξεργασίας στο θάλαμο προκειμένου να διατηρηθεί η σωστή λειτουργία της διεργασίας.
- 5) Δεν έχει καμία επίδραση στα σπόρια (Fellows, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η παραδοσιακή μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την ξήρανση του goji berry, είναι μέσω του ηλιακού φωτός (sun – drying). Όπως είναι γνωστό, κατά την παραδοσιακή αυτή μέθοδο ξήρανσης πραγματοποιείται σοβαρή μείωση των θρεπτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών, και έτσι υποβαθμίζεται η γεύση, το χρώμα και τα θρεπτικά συστατικά του προϊόντος. Λόγω του μεγάλου όγκου παραγωγής ξηρών προϊόντων goji berry, προκειμένου να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση για κατανάλωση τροφών για την ενίσχυση της υγείας και της ευεξίας, είναι σημαντική η εύρεση καλύτερων μεθόδων ξήρανσης των goji berries. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η προ – επεξεργασία της πρώτης ύλης, πριν από την εφαρμογή θερμού αέρα, με μεθόδους όπως η ωσμωτική αφυδάτωση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Μια συνδυασμένη διαδικασία, που αποτελείται από ωσμωτική αφυδάτωση και την τεχνολογία PEF, και τη συμβατική ξήρανση μπορεί να δώσει ένα τελικό προϊόν με βελτιωμένα ποιοτικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά, με φυσικό χρώμα χωρίς την προσθήκη διοξειδίου του θείου, σε μικρότερο χρόνο.

4.1 Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την παραγωγή ξηρών προϊόντων goji berry εφαρμόζοντας την ωσμωτική αφυδάτωση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία ως προ – επεξεργασία της συμβατικής ξήρανσης, για τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος.

4.2 Πειραματική Διαδικασία

Τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας χωρίζονται σε δύο ευρείες θεματικές ενότητες.

Κατά την **πρώτη θεματική ενότητα** μελετάται η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – επεξεργασία της συμβατικής ξήρανσης. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει τη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας αλλά και την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του goji berry: χρώμα, αντιοξειδωτική δράση και φαινόλες. Ακολουθεί η ξήρανση των ωσμω – αφυδατωμένων προϊόντων κατά την οποία επίσης μελετώνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και μετρούνται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν. Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως μέθοδο προ – επεξεργασίας πραγματοποιείται σύγκριση των επεξεργασμένων δειγμάτων με ανεπεξέργαστα δείγματα (δείγμα non – treated). Η πρώτη θεματική ενότητα ολοκληρώνεται με τα πειράματα διατηρησιμότητας, όπου προσδιορίζεται η χρονική διάρκεια ζωής ξηρών προϊόντων goji berry που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση και ανεπεξέργαστων ξηρών προϊόντων goji berry.

Κατά τη **δεύτερη θεματική ενότητα** μελετάται η επίδραση της τεχνολογίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως προ – κατεργασία τόσο της ωσμωτικής αφυδάτωσης, όσο και της συμβατικής ξήρανσης με θερμό αέρα. Ομοίως, ακολουθεί η μελέτη μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης και η μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών για κάθε δείγμα goji berry: χρώμα, αντιοξειδωτική δράση και φαινόλες.

4.3 Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Πρώτη Θεματική Ενότητα

Για τα πειράματα που αποτελούν την πρώτη θεματική ενότητα της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν κατεψυγμένα ελληνικά goji berries (Θήβα) τύπου *L. barbarum*. Τα goji berries διατηρούνταν στην κατάψυξη σε θερμοκρασία – 40 °C. Για την έναρξη της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν αναγκαία η απόψυξη κατάλληλης ποσότητας δείγματος, η οποία διαρκούσε περίπου 1h. Η μέση διάμετρος του κάθε goji berry είναι $4 \pm 0,28$ mm.

Κατά το σχεδιασμό πειραμάτων της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρασκευάστηκαν αρκετά ωσμωτικά διαλύματα και πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές. Η συνταγή που επιλέχθηκε με βάση την τελική οσμή, γεύση και flavonol του τελικού προϊόντος είναι:

- 60% γλυκερόλη (Glykerin EP 212, Oleogen SRL, U.S)
- 20% μαλτοδεξτρίνη (GLUCIDEX®47, Roquette, France)
- 2% ασκορβικό οξύ
- 1% άλας NaCl
- 17% απιονισμένο νερό

Η γλυκερόλη είναι κοινό συστατικό ενός ωσμωτικού διαλύματος και ο κύριος σκοπός της είναι η μείωση της ενεργότητας νερού του τροφίμου. Επίσης, χρησιμοποιείται για να προσδώσει μια ευχάριστη γλυκιά γεύση στο τρόφιμο και να αποτρέψει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο τρόφιμο κατά τη αποθήκευση (Giannioti et al., 2001).

Η μαλτοδεξτρίνη προστατεύει την κυτταρική μεμβράνη του φρούτου κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης και επιταχύνει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, λόγω του μικρού μοριακού της βάρους.

Το ασκορβικό οξύ αποτελεί ασφαλές χημικό πρόσθετο στα τρόφιμα. Αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα του ενζυμικού μαυρίσματος και προστατεύει το χρώμα του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, έχει αντιοξειδωτική δράση και ενισχύει τα θρεπτικά συστατικά του τελικού προϊόντος τροφίμου.

Το άλας NaCl συντελεί στη βελτίωση της γεύσης του τελικού προϊόντος εξισορροπώντας τη γλυκύτητα που προσδίδουν τα άλλα σάκχαρα. Επιπλέον, αυξάνει την απόδοση της διεργασίας.

Το ωσμωτικό διάλυμα είχε συγκέντρωση περίπου 55 °Brix και ενεργότητα νερού ίση με $a_w = 0,7625 \pm 0,005$.

Η αναλογία μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος ήταν 1:5 (w/w). Κρίθηκε απαραίτητη η εφαρμογή μηχανικής ανάδευσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της διεργασίας, καθώς το goji berry αποτελεί πολύ δύσκολη πρώτη ύλη λόγω του φλοιού του.

Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε για τις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C. Η συνολική διάρκεια της διεργασίας ήταν μέχρι και 3h, ενώ λήψη δείγματος πραγματοποιήθηκε για τους χρόνους 15, 30, 60, 90, 120, 150 και 180 min.

Η πρώτη θεματική ενότητα ολοκληρώνεται με τα πειράματα διατηρησιμότητας, κατά την οποία υπολογίζεται ο χρόνος ζωής, τόσο των ξηρών προϊόντων goji berry που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση αλλά και των ανεπεξέργαστων ξηρών προϊόντων goji berry. Για τη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα ξηρά τελικά προϊόντα Goji τα οποία είχαν ξηραθεί με θερμό αέρα και τα δείγματα που είχαν προ – επεξεργαστεί με ώσμωση για 60 min στους 55 °C. Η θερμοκρασία των 55 °C θεωρήθηκε καλύτερη από τις τρεις (45, 55 και 65 °C), καθώς επιτάχυνε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ενώ παράλληλα επετεύχθη σημαντική αύξηση των βιοδραστικών ουσιών χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής του φρούτου. Το κοινό χαρακτηριστικό των δύο διαφορετικών δειγμάτων ήταν η τιμή ενεργότητας νερού, για την οποία ισχύει $a_w \approx 0,5$.

Δεύτερη Θεματική Ενότητα

Για τα πειράματα που αποτελούν τη δεύτερη θεματική ενότητα της διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν φρέσκα ελληνικά goji berries (Θεσσαλονίκη) τύπου *L. barbarum*. Τα goji berries διατηρούνταν στην ψύξη σε θερμοκρασία 4 °C. Πριν την έναρξη του πειράματος, ήταν απαραίτητη η πλύση των goji berries με νερό και η αφαίρεση του κοτσανιού τους. Η μέση διάμετρος του κάθε goji berry είναι $10 \pm 0,70$ mm.

Πριν την ωσμωτική αφυδάτωση στο δείγμα εφαρμόστηκε η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων με σκοπό τη διάρρηξη του φυτικού ιστού και την βελτίωση της διεργασίας της αφυδάτωσης.

Σε ό,τι αφορά στο σχεδιασμό των πειραμάτων της ωσμωτικής αφυδάτωσης ισχύει ό,τι και στην πρώτη θεματική ενότητα.

4.4 Εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων

Η διεργασία αποσκοπεί στην επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας λόγω της ηλεκτροδιάτρησης της κυτταρικής μεμβράνης. Η διάρρηξη των κυττάρων μπορεί να πραγματοποιηθεί και με άλλες μεθόδους όπως η κατάψυξη – απόψυξη (freeze – thawing), και γι' αυτό το λόγο ήταν αναγκαία η χρήση φρέσκου δείγματος goji berry, για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.

Τα πειράματα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων διεξήχθησαν σε μονάδα πιλοτικής κλίμακας (Elcrack-5kW, DIL, Quakenbrück, Germany).

Για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών πραγματοποιήθηκε πείραμα προσδιορισμού του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης Z_p . Κατά την πειραματική διαδικασία, εφαρμόστηκε πεδίο έντασης 0,9, 1,8 και 2,8 kV/cm, όπου μεταβάλλονταν συνεχώς οι παλμοί και γινόταν μέτρηση της αγωγιμότητας σε μια υψηλή και μια χαμηλή συχνότητα, 1 kHz και 1 MHz αντίστοιχα, με τις συσκευές Newtronics, Model 200LTPC και Tektronix TDS 1012.

Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πείραμα προσδιορισμού του δείκτη διάρρηξης Z_p επελέγη η ένταση πεδίου που θα εφαρμοστεί στα δείγματα goji berry (2,8 kV/cm) και εξετάστηκε η επίδραση των 750, 1500 και 7500 παλμών (11,25, 22,5 και 112,5 ms αντίστοιχα). Το πλάτος παλμού ήταν 15 μ s, η συχνότητα 20 Hz και η ενέργεια 14,5 – 15 J/παλμό.

Η συσκευή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων περιέχει ένα δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα όγκου 400 mL και διαστάσεων 80x100x50 mm. Σε αυτό τοποθετούνται 110 g φρέσκα goji berries και το δοχείο πληρώνεται με απιονισμένο νερό, το οποίο αποτελεί το μέσο μεταφοράς του ρεύματος.

4.5 Εφαρμογή της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα

Για τα πειράματα της ξήρανσης χρησιμοποιήθηκαν goji berries, τα οποία είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση για 60 min. Η ξήρανση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στη θερμοκρασία των 60 °C, η οποία ανήκει στο εύρος των θερμοκρασιών 50 – 90 °C, για τις οποίες έχει γίνει αναφορά ξήρανσης και άλλων φρούτων τύπου berries με παρόμοιο μέγεθος και σχήμα με τα goji berries (Kwok et al., 2004, Stojanovic and Silva, 2007, López et al., 2010, Leusink et al., 2010). Επιπλέον ξηράθηκαν και ανεπεξέργαστα goji berries, για να μπορεί να γίνει η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση των πειραμάτων των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, πραγματοποιήθηκε ξήρανση και δειγμάτων που είχαν υποστεί μόνο PEF.

Για την ξήρανση χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας (Biosec De Luxe B12, TAUROESSICCATORI, Italy) (Σχήμα 4.1) ($h = 11,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). Η ξήρανση των δειγμάτων γινόταν στα τρία κεντρικά ράφια του ξηραντήρα, όπου και τοποθετούνταν κάθε φορά συγκεκριμένη ποσότητα goji berries (100 g).

Προκειμένου να προσδιορίζεται κάθε φορά η απώλεια υγρασίας κατά την ξήρανση, τα ράφια ζυγίζονταν πριν την έναρξη της διαδικασίας και κατά τη διάρκεια αυτής. Έτσι, από το μικτό βάρος και γνωρίζοντας το αρχικό βάρος του δείγματος ήταν δυνατός ο προσδιορισμός των παραμέτρων της διεργασίας την ξήρανσης. Κριτήριο για τον τερματισμό της διεργασίας ήταν η τιμή της ενεργότητας νερού $a_w = 0,50$.



Σχήμα 4.1: Ξηραντήρας (Biosec De Luxe B12, TAUROESSICCATORI, Italy)

4.6 Αναλυτικές Μέθοδοι

4.6.1 Μέτρηση Ενεργότητας Νερού

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας νερού a_w , των δειγμάτων goji berry χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA (Σχήμα 4.2). Η αρχή λειτουργίας του ενεργόμετρου βασίζεται στο σημείο δρόσου. Μια μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετείται σε ειδικό πλαστικό κύπελλο και στη συνέχεια εισάγεται στη συσκευή. Υπέρυθρες ακτίνες εστιάζουν σε ένα μικροσκοπικό καθρέφτη και καθορίζεται το ακριβές σημείο δρόσου, το οποίο μετατρέπεται σε ενεργότητα νερού.



Σχήμα 4.2: Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού (Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA)

4.6.2 Μέτρηση Περιεχόμενου Νερού και Ολικών Στερεών

Το περιεχόμενο νερό και τα ολικά στερεά προσδιορίζονται με ξήρανση τμήματος του φρούτου σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110 °C (WTB BINDER 7200, Type E53, Germany) για 24 h.

4.6.3 Μέτρηση Χρώματος

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων goji berry πραγματοποιήθηκαν με το χρωματόμετρο MINOLTA CR – 200 (Minolta Company, Chuo-Ku, Japan) (Σχήμα 4.3). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η CIE Lab (Commission International de l'Éclairage) (Σχήμα 4.4) με χρωματικούς δείκτες τους: L, a, b. Πριν από κάθε μέτρηση, πραγματοποιούνται βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια ειδικής λευκής πλάκας (L = 97,50, a = -0,31, b = -3,83). Οι μετρήσεις γίνονται σε αντιπροσωπευτική περιοχή του δείγματος. Η κάθε μέτρηση επαναλαμβάνεται τρεις φορές.

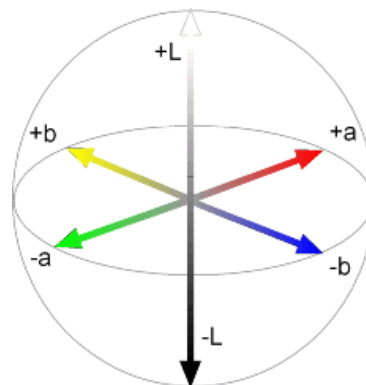
Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE προκύπτει από τις παραμέτρους L, a, b και την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (\text{εξ. 4.1})$$

όπου L_0 , a_0 , b_0 οι παράμετροι του αρχικού δείγματος.



Σχήμα 4.3: Χρωματόμετρο MINOLTA CR – 200
(Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA)



Σχήμα 4.4: Κλίμακα CIE Lab (L, a, b)

4.6.4 Προσδιορισμός της Αντιοξειδωτικής Ικανότητας

Για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής δράσης, αλλά και της περιεκτικότητας σε φαινόλες, των δειγμάτων ήταν απαραίτητη η παραλαβή εκχυλίσματος από σκόνη goji berry.

Τα δείγματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης υποβλήθηκαν σε περαιτέρω ξήρανση υπό κατάψυξη σε ξηραντήρα (CHRIST A 1 – 4 LD plus, CHRIST, Germany) για τουλάχιστον 24 h. Κατόπιν, ακολούθησε η μετατροπή των αφυδατωμένων προϊόντων σε σκόνη με πολυκόφτη τύπου Multi (Moulti Moulinette, moulinex, France).

Για την εκχύλιση των αντιοξειδωτικών ενώσεων, 0,5 g σκόνης goji berry ομογενοποιείται σε 50 mL 100% αιθανόλης και αναδεύεται για 30 min. Ακολουθεί φυγοκέντρηση στα 7200 rpm, για 15 min, με σκοπό τη μείωση των υπολειμμάτων (Zhang, 2013).

Η αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων αιθανόλης προσδιορίζεται με τη μέθοδο DPPH (Brand – Williams et al., 1995). Παρασκευάζεται διάλυμα DPPH (1,1 – diphenyl – 2 – picrylhydrazyl) συγκέντρωσης 25 – 27 ppm και στη συνέχεια λαμβάνονται 3,9 mL και μεταφέρονται σε γυάλινη κυψελίδα. Προστίθεται 0,1 mL εκχυλίσματος και ακολουθεί φωτομέτρηση στα 515 nm στο φωτόμετρο Helios α, UNICAM, USA. Ο μηδενισμός του οργάνου γίνεται με μεθανόλη. Επιπλέον, παρασκευάζεται και τυφλό δείγμα, από την απορρόφηση του οποίου προκύπτει η διαφορά ΔΑ. Η διαφορά ΔΑ μέσω της παρακάτω εξίσωσης μετατρέπεται σε mol ισοδύναμου Trolox ανά γραμμάριο σκόνης goji berry (Trolox equivalents):

$$C_{TE} = \frac{\Delta A_{515 \text{ nm}} - 0,0123}{0,7136} \quad (\text{εξ. 4.2})$$

4.6.5 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων

Η εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Zhang et al. (2016). Τρία γραμμάρια σκόνης goji berry ομογενοποιούνται σε 20 mL 80% μεθανόλης, και στη συνέχεια φυγοκεντρίζονται στα 3000 g, για 10 min σε θερμοκρασία 4 °C.

Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες στο εκχύλισμα μεθανόλης μετρήθηκε με τη μέθοδο Folin – Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965). Ένα μίγμα αντίδρασης τελικού όγκου 10 mL, περιείχε 7,9 mL απιονισμένο νερό, 0,1 mL δείγματος, 0,5 mL του αντιδραστηρίου Folin – Ciocalteu και 1,5 mL Na₂CO₃ (20%, w/v). Τα δείγματα επώαστηκαν για 30 min στους 25 °C. Η απορρόφηση μετρήθηκε στα 765 nm και η περιεκτικότητα σε φαινόλες υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση που προέκυψε από την αντίστοιχη καμπύλη αναφοράς. Η συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων εκφράζεται σε mg ισοδύναμου γαλλικού οξέος ανά g σκόνης goji berry (Gallic Acid Equivalents, GAE). Για το μηδενισμό του οργάνου κατά τη φωτομέτρηση παρασκευάστηκε και τυφλό δείγμα, η απορρόφηση του οποίου στα 765 nm κυμαίνονταν από 0,020 – 0,030. Η μετατροπή της απορρόφησης σε συγκέντρωση ισοδύναμου γαλλικού οξέος έγινε μέσω της καμπύλης αναφοράς:

$$C_{GAE} = \frac{A_{765 \text{ nm}} - 0,0044}{0,0012} \quad (\text{εξ. 4.3})$$

4.6.6 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των τελικών προϊόντων goji berry, επεξεργασμένων και μη, σε θερμοκρασία φύλαξης 25, 35 και 45 °C, πραγματοποιήθηκε από ομάδα 6 δοκιμαστών, με βαθμολογία σε κλίμακα αρέσκειας από 1 έως 9, με 9 να θεωρείται το άριστο.

Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς τα χαρακτηριστικά χρώμα, υφή, γεύση και συνολική εντύπωση. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε ο αριθμός 5. Το έντυπο του οργανοληπτικού ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε κατά τις δοκιμές παρουσιάζεται παρακάτω:

Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου: Αφυδατωμένο goji berry

ΟΝΟΜΑ & ΕΠΩΝΥΜΟ :

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :

ΔΕΙΓΜΑ						
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ						
<i>Βαθμολογείστε ως προς την αρέσκεια 1 – 9 (1: πολύ κακό, 9: πολύ καλό)</i>						
Χρώμα						
Υφή (στο στόμα)						
Γεύση						
Συνολική Εντύπωση						
<u>Παρατηρήσεις</u>						

Σχήμα 4.5: Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου

Ο οργανοληπτικός έλεγχος ήταν πολύ σημαντικό κριτήριο για την αποδοχή του τελικού προϊόντος και τον καθορισμό της διάρκειας ζωής του.

4.7 Επεξεργασία Μετρήσεων

4.7.1 Απώλεια νερού και Πρόσληψη στερεών

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιούνται δύο κύρια φαινόμενα μεταφοράς μάζας: η απώλεια νερού (water loss) και η πρόσληψη στερεών από το τρόφιμο (solid gain). Η ποσοτικοποίηση αυτών γίνεται με τα παρακάτω μεγέθη:

- Δείκτης WL: Εκφράζει το ποσό του νερού που κατευθύνεται από το τρόφιμο προς το διάλυμα (g νερού/100 g αρχικού ξηρού βάρους).
- Δείκτης SG: Εκφράζει την ποσότητα των στερεών συστατικών που παρέλαβε το τρόφιμο από το ωσμωτικό διάλυμα (g ολικών στερεών/100 g αρχικού ξηρού βάρους).

Ο υπολογισμός των δεικτών WL και SG γίνεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (\text{εξ. 4.4})$$

$$SG = \frac{(m - m_o)}{m_o} \quad (\text{εξ. 4.5})$$

Όπου:

- M_0 : η αρχική μάζα του φρέσκου τροφίμου
- M : η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης
- m : η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης
- m_0 : η ξηρή μάζα του φρέσκου προϊόντος.

4.7.2 Υπολογισμός Συντελεστή Διάχυσης και Σταθεράς Ρυθμού Ξήρανσης

Η μαθηματική περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς μάζας που λαμβάνουν χώρα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των goji berries σε διάλυμα 60% γλυκερόλη και θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C συνολικής διάρκειας 180 min, γίνεται από το 2^ο Νόμο του Fick που αφορά στη διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \quad (\text{εξ. 4.6})$$

όπου:

- C : η συγκέντρωση,
- D : ο συντελεστής διάχυσης,
- Z : η χαρακτηριστική απόσταση της διάχυσης
- t : ο χρόνος.

Για την περιγραφή της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης των goji berries χρησιμοποιήθηκε μοντέλο μη μόνιμης διάχυσης, το οποίο βασίζεται στο 2^ο Νόμο του Fick (εξ. 4.5) (Bui et al., 2009, Ketata et al., 2013). Το μοντέλο βασίζεται στις παραδοχές του δείγματος σφαιρικού σχήματος, της αμελητέας συρρίκνωσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και του σταθερού συντελεστή διάχυσης. Από το μαθηματικό μοντέλο, η περιεχόμενη υγρασία (MR) και τα περιεχόμενα στερεά (SR) με το χρόνο (t) εκφράζονται ως (Crank, 1975):

$$MR = \frac{M_t x_t - M_e x_e}{M_0 x_0 - M_e x_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-D_m \pi^2 t}{a^2}\right) \quad (\text{εξ. 4.7})$$

$$SR = \frac{M_e s_e - M_t s_t}{M_e s_e - M_0 s_0} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-D_s \pi^2 t}{a^2}\right) \quad (\text{εξ. 4.8})$$

Όπου:

- a : η μέση ακτίνα των goji berries (m)
- D_m και D_s : οι αποτελεσματικοί συντελεστές διάχυσης της υγρασίας και των στερεών αντίστοιχα (m^2/s)

- $M_{o,t,e}X_{o,t,e}$: η περιεχόμενη αρχική, σε τυχαία στιγμή t και η υγρασία του φρούτου στην ισορροπία (g/g dw)
- $M_{o,t,e}S_{o,t,e}$: τα περιεχόμενα αρχικά, σε τυχαία στιγμή t και στερεά του φρούτου στην ισορροπία (g/g dw).

Η αποτελεσματική διάχυση της υγρασίας, D_m , προκύπτει από την κλίση: $D_m\pi^2/\alpha^2$, του διαγράμματος $\ln(MR)$ ως προς το χρόνο (t). Η αποτελεσματική διάχυση των στερεών, D_s , προκύπτει από την κλίση: $D_s\pi^2/\alpha^2$, του διαγράμματος $\ln(SR)$ ως προς το χρόνο (t).

Η εξάρτηση του ρυθμού διάχυσης από τη θερμοκρασία περιεγράφηκε σύμφωνα με τη σχέση του Arrhenius, η οποία θα εξηγηθεί πλήρως στο κεφάλαιο 4.7.3.

Για την περίπτωση της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C χρησιμοποιήθηκε ένα απλό εκθετικό μοντέλο για να προσδιορίσει το σταθερό ρυθμό της διάχυσης και να περιγράψει τα φαινόμενα μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία αυτή (Babalís et al., 2006, Orikasa et al., 2008, Ando, et al., 2016):

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{-k_d t} \quad (\text{εξ. 4.9})$$

Όπου:

- M : η περιεκτικότητα σε υγρασία τη χρονική στιγμή t
- M_o : η αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία
- M_e : η περιεκτικότητα σε υγρασία στο σημείο ισορροπίας
- k_d : η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης (h^{-1})
- t : ο χρόνος της ξήρανσης (h).

4.7.3 Κινητικό Μοντέλο Υποβάθμισης της Ποιότητας κατά την Αποθήκευση – Μελέτη Διατηρησιμότητας

Η σχέση που εκφράζει την ποιοτική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής είναι:

$$\frac{dP}{dt} = k P^n \quad (\text{εξ. 4.10})$$

Όπου:

- P : ο ποιοτικός δείκτης που μελετάται
- k : η σταθερά του ρυθμού αντίδρασης

- n: η τάξη της αντίδρασης.

Σύμφωνα με την εξίσωση που προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε δείκτη ποιότητας, προκύπτουν οι σταθερές του ρυθμού αντίδρασης (k) για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης. Ο ρυθμός αντίδρασης κάθε ποιοτικού δείκτη συσχετίζεται με τη θερμοκρασία αποθήκευσης μέσω της εξίσωσης Arrhenius (εξισώσεις 4.11 – 4.12), από την οποία προσδιορίζεται και η ενέργεια ενεργοποίησης σε κάθε περίπτωση (Ταούκης, και Ωραιοπούλου, 2009):

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (\text{εξ. 4.11})$$

ή με αναφορά σε κάποια θερμοκρασία:

$$k = k_{ref} \exp\left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{εξ. 4.12})$$

Όπου:

- k_0 : ο προ – εκθετικός παράγοντας
- k_{ref} : ο ρυθμός στη θερμοκρασία αναφοράς T_{ref}
- E_a : η ενέργεια ενεργοποίησης (kJ/mol)
- R : η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 J/molK

Ως θερμοκρασία αναφοράς, στην παρούσα διπλωματική εργασία, λαμβάνονται οι 25 °C.

Από τα κινητικά μοντέλα που προκύπτουν για την υποβάθμιση του τροφίμου, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διάρκειας ζωής του. Σημαντικό δείκτη υποβάθμισης της ποιότητας οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, που καθορίζουν και την αποδοχή του τελικού προϊόντος. Τα όρια αποδοχής συνήθως ορίζονται ως 5/9 (Dermesonliouoglou et al., 2015).

4.8 Στατιστική επεξεργασία

Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων όσον αφορά στην επίδραση της εφαρμογής ωσμωτικής προ – κατεργασίας και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων εφαρμόζεται ο έλεγχος Duncan ($\alpha = 0.05$) για να αποτιμηθούν, για κάθε παράγοντα χωριστά, οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών περιπτώσεων (STATISTICA® 7.0, StatSoft Inc., Tulsa, USA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Πρώτη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης ως Μέθοδο προ – Κατεργασίας για την Παραγωγή Ξηρών Προϊόντων Goji Berry

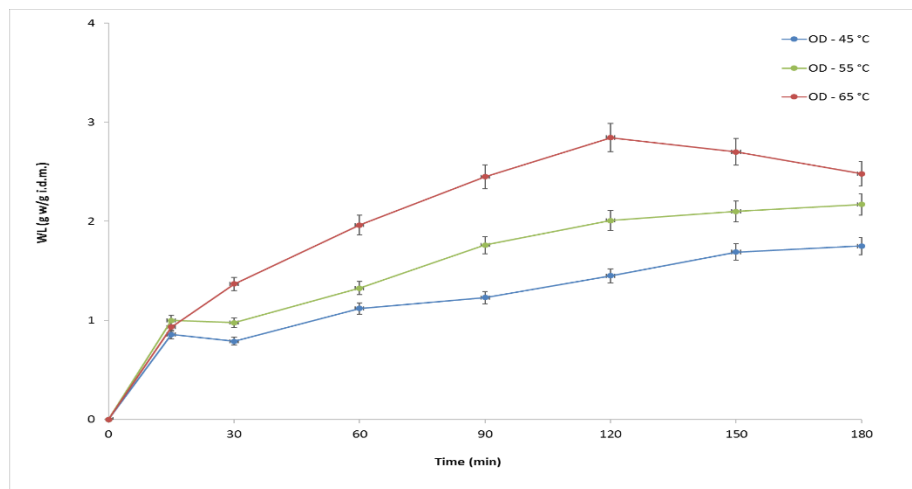
5.1.1 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση

5.1.1.1 Προσδιορισμός Απώλειας Νερού και Ολικών Στερεών

Απώλεια νερού (WL)

Η αρχική υγρασία των δειγμάτων goji berry όρο 19,12 g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους. Η απώλεια υγρασίας υπολογίστηκε με την εξίσωση 4.3.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1) παρουσιάζεται η απώλεια νερού, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης του goji berry στις θερμοκρασίες των 45, 55 και 65 °C:



Σχήμα 5.1: Απώλεια νερού (WL) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης goji berry σε θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C

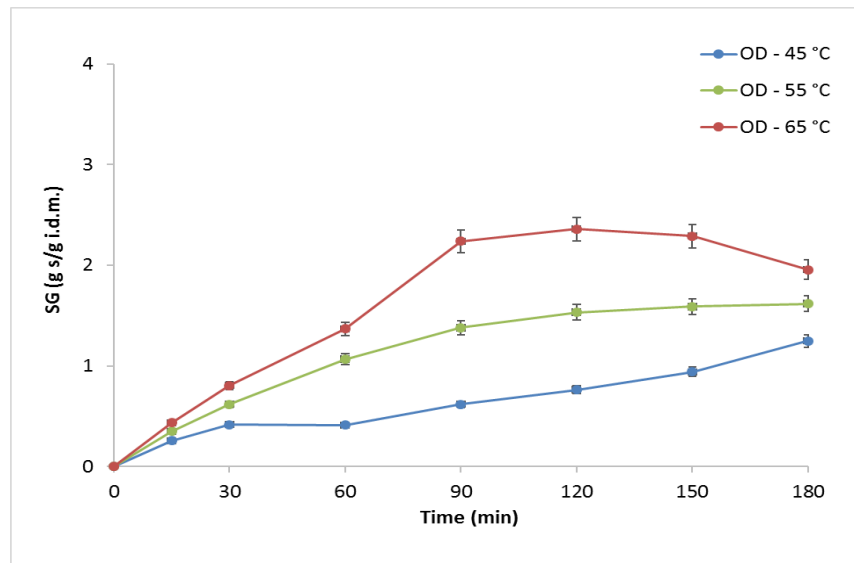
Από το σχήμα παρατηρείται ότι η επίδραση της θερμοκρασίας στη διαδικασία γίνεται αντιληπτή μετά τα 15 min. Είναι φανερό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, τα οποία είναι πιο έντονα στη θερμοκρασία των 65 °C. Στη θερμοκρασία των 45 °C παρατηρείται η μικρότερη απώλεια νερού.

Η απώλεια νερού αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό μέχρι και τα 120 min και στις τρεις θερμοκρασίες. Από τα 120 – 180 min η απώλεια νερού σταθεροποιείται και η ωσμωτική αφυδάτωση πλησιάζει το σημείο της ισορροπίας.

Αν και η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, στη θερμοκρασία των 65 °C παρουσιάζεται μικρή μείωση προς το τέλος της διεργασίας, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του διαλύματος και της μεγάλης διάρκειας της διεργασίας. Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας κατά την ώσμωση μπορεί να προκαλέσει την απώλεια του ημιδιαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης, την αύξηση της αντίστασης στην απώλεια νερού και τη μείωση της αντίστασης στη διείσδυση ωσμωτικής ουσίας (Ciurzynska et al., 2016).

Πρόσληψη στερεών (SG)

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.2) παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών ουσιών, όπως προέκυψε από την εξίσωση 4.5, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης του goji berry στις θερμοκρασίες των 45, 55 και 65 °C:

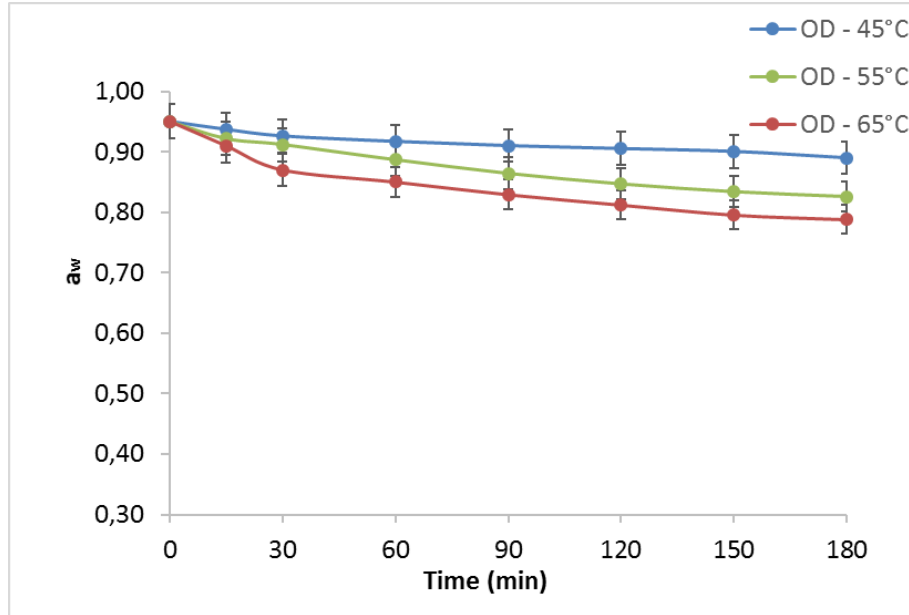


Σχήμα 5.2: Πρόσληψη στερεών ουσιών (SG) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης goji berry σε θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C

Όπως και στην απώλεια νερού, η πρόσληψη στερεών αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, και άρα είναι μεγαλύτερη στους 65 °C. Στην αρχή της διεργασίας το φαινόμενο εξελίσσεται πιο γρήγορα και στη συνέχεια με πιο αργό ρυθμό.

5.1.1.2 Ενεργότητα Νερού

Η αρχική ενεργότητα νερού των αποψυγμένων δειγμάτων goji berry ήταν κατά μέσο όρο ίση με $a_w = 0,9500 \pm 0,0050$. Παρακάτω (Σχήμα 5.3) παρουσιάζεται η μείωση της ενεργότητας νερού κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C:



Σχήμα 5.3: Ενεργότητα νερού (a_w) δειγμάτων goji berry κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C

Η ενεργότητα νερού μειώνεται ταχύτερα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η επίδραση της θερμοκρασίας γίνεται αντιληπτή στην περίπτωση των 65 °C μετά τα 15 min, ενώ για τους 45 και 55 °C μετά τα 30 min.

5.1.1.3 Συντελεστής Διάχυσης

Οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού και στερών υπολογίσθηκαν από τις εξισώσεις 4.6 και 4.7 αντίστοιχα, για την διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 45, 55 και 65 °C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1: Δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού (D_m) και στερών (D_s) για θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry

T (°C)	D_m ($\cdot 10^{-10}$ m ² /s)	D_s ($\cdot 10^{-10}$ m ² /s)
45	1,82a	5,17a
55	6,06b	10,45b
65	9,48c	16,51c

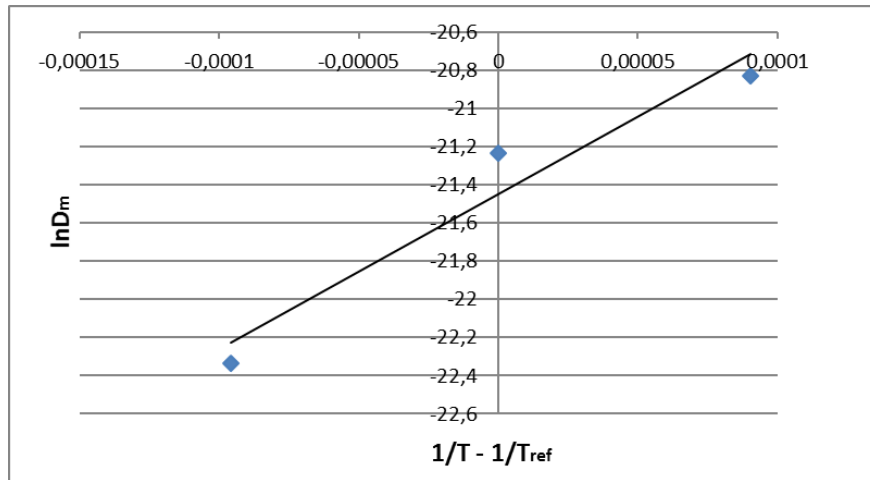
Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος προκαλεί αύξηση στις τιμές των συντελεστών διάχυσης νερού, D_m , και στερών, D_s .

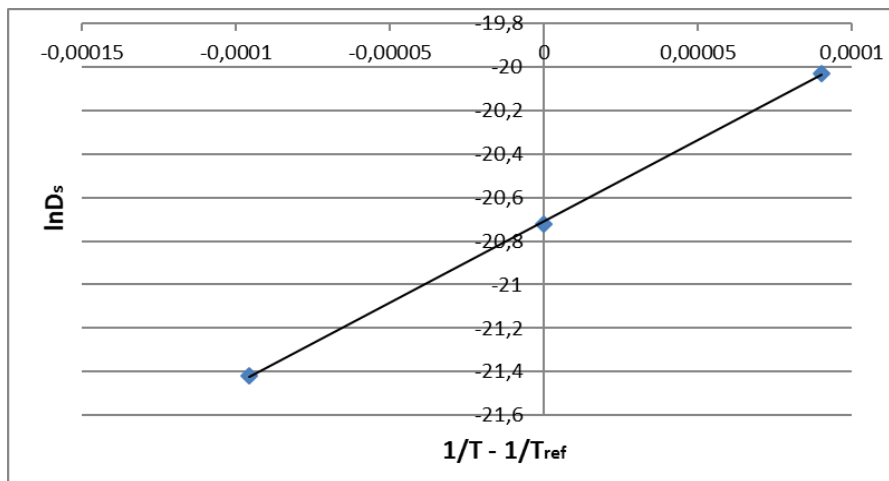
Η επίδραση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος στους συντελεστές διάχυσης περιγράφεται από μια εξίσωση τύπου Arrhenius (Amami et al., 2008):

$$D_{m,s} = D_{m,s,ref} \exp\left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{εξ. 5.1})$$

Από το διάγραμμα $\ln D_{m,s} - \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)$, είναι δυνατός ο υπολογισμός της ενέργειας ενεργοποίησης για κάθε δείγμα καθώς επίσης και ο δραστικός συντελεστής διάχυσης στη θερμοκρασία αναφοράς, όπου $T_{ref} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.



Σχήμα 5.4: Επίδραση θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους δραστικούς συντελεστές διάχυσης του νερού (D_m) των δειγμάτων goji berry (T: 45, 55 και 65 °C)



Σχήμα 5.5: Επίδραση θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους δραστικούς συντελεστές διάχυσης των στερεών (D_s) των δειγμάτων goji berry (T: 45, 55 και 65 °C)

Πίνακας 5.2: Ενέργεια ενεργοποίησης (E_a), δραστικός συντελεστής διάχυσης νερού ($D_{m,ref}$) και πρόσληψης στερεών ($D_{s,ref}$) και συντελεστής συσχέτισης (R^2), για $T_{ref} = 55\text{ }^\circ\text{C}$

$D_{m,ref}$ ($\cdot 10^{-10}$ m ² /s)	E_a (kJ/mol)	R^2	$D_{s,ref}$ ($\cdot 10^{-10}$ m ² /s)	E_a (kJ/mol)	R^2
4,84	67,50 ± 16,69	0,9424	10,14	61,92 ± 1,09	0,9997

5.1.1.4 Μεταβολή Χρώματος

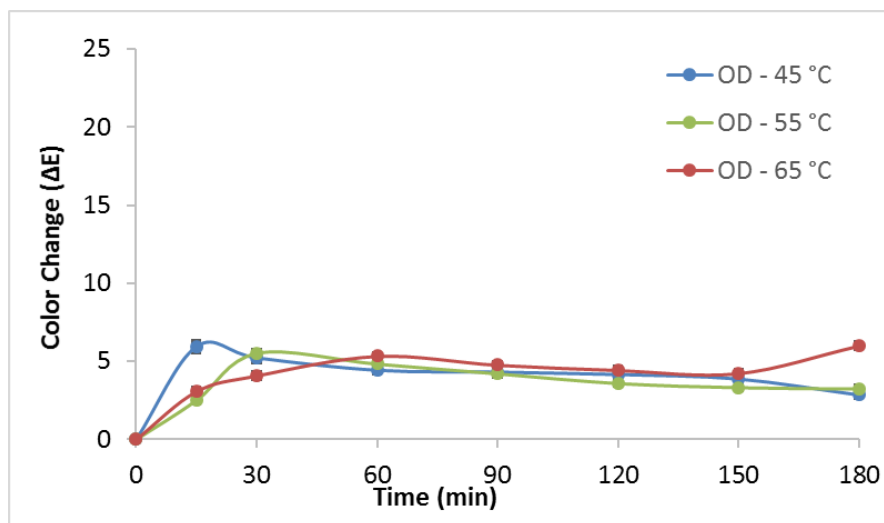
Η ωσμωτική αφυδάτωση, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων υψηλής υγρασίας. Αυτή η διαδικασία προάγει τη σταθεροποίηση των παραμέτρων του χρώματος, μειώνοντας μη ενζυμικές αντιδράσεις αμαύρωσης και συχνά βελτιώνει το χρώμα των προϊόντων φρούτου (Krokida et al., 2000).

Το αρχικό χρώμα των δειγμάτων goji berry εκφράζεται με τους δείκτες L, a και b τη χρονική στιγμή $t = 0$, στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.3: Αρχικές τιμές παραμέτρων L,a,b του χρώματος του ανεπεξέργαστου δείγματος goji berry

Δείγμα	t (min)	L	a	b
NON – TREATED	0	39,99 ± 0,20	29,68 ± 1,31	23,67 ± 1,82

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.6) παρουσιάζεται η συνολική μεταβολή χρώματος των φρούτων, όπως υπολογίστηκε με την εξίσωση 4.1, κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C:



Σχήμα 5.6: Συνολική μεταβολή χρώματος των δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C

Σύμφωνα με το σχήμα, η ωσμωτική αφυδάτωση δεν προκαλεί έντονη αλλαγή στο συνολικό χρώμα του δείγματος, αλλά έχει ως αποτέλεσμα τη σταθεροποίησή του. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρείται το χρονικό διάστημα 0 – 30 min και για τις τρεις θερμοκρασίες.

Παρατηρείται ότι, ο τρόπος που μεταβάλλεται το χρώμα είναι παρόμοιος και για τις τρεις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C, συνεπώς ο παράγοντας θερμοκρασία, στην περίπτωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης, δεν επηρεάζει σημαντικά τη μεταβολή του χρώματος. Έτσι, επιβεβαιώνεται η σταθεροποιητική επίδραση της διαδικασίας στο χρώμα του τελικού προϊόντος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι παράμετροι χρώματος των ωσμω – αφυδατωμένων δειγμάτων για τη χρονική στιγμή $t = 60$ min και $t = 180$ min, για τις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C:

Πίνακας 5.4: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a και b δειγμάτων goji berry τις χρονικές στιγμές 60 και 180 min σε θερμοκρασία 45, 55 και 65 °C

Δείγμα	t (min)	L	A	b
OD - 45 °C	60	37,74 ± 0,72ab	27,78 ± 1,58ab	21,52 ± 1,12a
OD - 55 °C		38,56 ± 1,07abc	26,51 ± 0,40bc	21,67 ± 0,89a
OD - 65 °C		39,01 ± 0,95abc	27,37 ± 1,91abc	22,32 ± 2,28ab
OD - 45 °C	180	39,11 ± 0,44bc	29,52 ± 2,08a	24,05 ± 1,18bc
OD - 55 °C		39,43 ± 0,40c	26,63 ± 0,46bc	23,08 ± 1,87c
OD - 65 °C		37,55 ± 0,38a	24,63 ± 0,59c	23,01 ± 1,18bc

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Η μείωση της παραμέτρου L, κατά τη διάρκεια της ώσμωσης, δηλώνει τη μείωση της φωτεινότητας του δείγματος (Πίνακας 5.2 και 5.3). Ωστόσο, όπως προκύπτει και από το σχήμα 5.6 αυτή η μεταβολή δεν είναι έντονη. Στα 180 min της διεργασίας παρατηρείται αύξηση της φωτεινότητας, συγκριτικά με τα 60 min, για τις θερμοκρασίες 45 και 55 °C.

Όσον αφορά στη θερμοκρασία των 65 °C η μεταβολή της φωτεινότητας παρατηρείται στο τέλος της διεργασίας, αντίθετα με τις άλλες δύο θερμοκρασίες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία και στη μακρά διάρκεια της διεργασίας.

Η αύξηση των τιμών των παραμέτρων a και b, κυρίως στις θερμοκρασίες 45 και 55 °C, αφορά στην αύξηση του κόκκινου και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα. Η αύξηση αυτών των χρωμάτων πιθανώς είναι αποτέλεσμα της πρόσληψης και κατακράτησης της συγκέντρωσης των στερεών ουσιών (Rodrigues et al., 2003). Η ερυθρότητα μπορεί να σχετίζεται με την αλληλεπίδραση του ασκορβικού οξέος με τις χρωστικές ουσίες του goji berry (Choi et al., 2002).

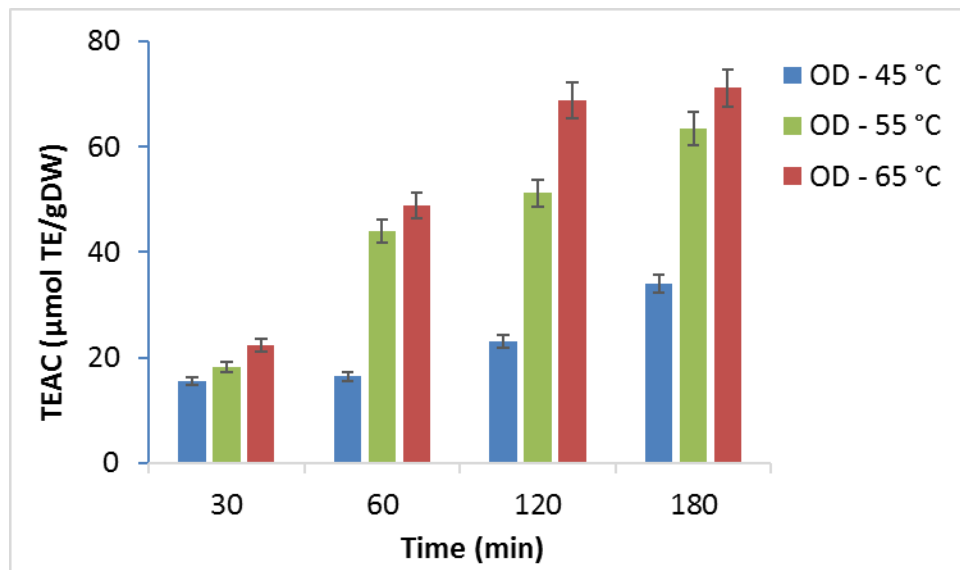
5.1.1.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Το *Lycium barbarum* L. είναι ένα από τα πιο σημαντικά κινέζικα παραδοσιακά φαρμακευτικά φυτικά είδη, καθώς διαθέτουν σημαντικές βιολογικές ιδιότητες, όπως η αντιγήρανση, η νευροπροστασία, η δράση ενάντια της κόπωσης, η υπογλυκαιμική δράση, οι ανοσοτροποποιητικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Amagase and Farnsworth, 2011, Potterat, 2010, Wang et al., 2010, Yu et al., 2005).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των αποψυγμένων δειγμάτων goji berry (non – treated) σύμφωνα με τη μέθοδο DPPH, η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.5.4, προσδιορίστηκε ως $13,98 \pm 2,21$ $\mu\text{mol TE/g DW}$ ($\% \frac{\Delta A - \Delta A_0}{\Delta A} = 42,34$).

Η βιβλιογραφία περιορίζεται στην αναφορά της αντιοξειδωτικής ικανότητας αποξηραμένων goji berry, η οποία κυμαίνεται $2,88 - 91,75$ ($\% \frac{\Delta A - \Delta A_0}{\Delta A}$) ανάλογα με το διαλύτη εκχύλισης (Endes et al., 2015).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρατίθεται η μεταβολή των αντιοξειδωτικών του goji berry κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα δείγματα εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικά διαλύματα θερμοκρασίας 45, 55 και 65 °C. Οι χρόνοι που δίνονται είναι ενδεικτικοί (30, 60, 120 και 180 min).



Σχήμα 5.7: Μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας των goji berries κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C

Παρατηρείται αυξητική τάση των αντιοξειδωτικών με το χρόνο της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η αύξηση αυτή είναι εντονότερη με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το ωσμωτικό διάλυμα, στο

οποίο εμβαπτίστηκαν τα δείγματα, περιείχε 2% (w/w) ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C) που αποτελεί ένα από τα βασικά αντιοξειδωτικά με ισχυρή αναγωγική δράση. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.7 κατά την ώσμωση η πρόσληψη στερεών αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος και τη διάρκεια της διαδικασίας. Επομένως, η αυξημένη αντιοξειδωτική δράση οφείλεται στην προσθήκη του ασκορβικού οξέος στο διάλυμα και στην περαιτέρω απορρόφησή του από τα φρούτα.

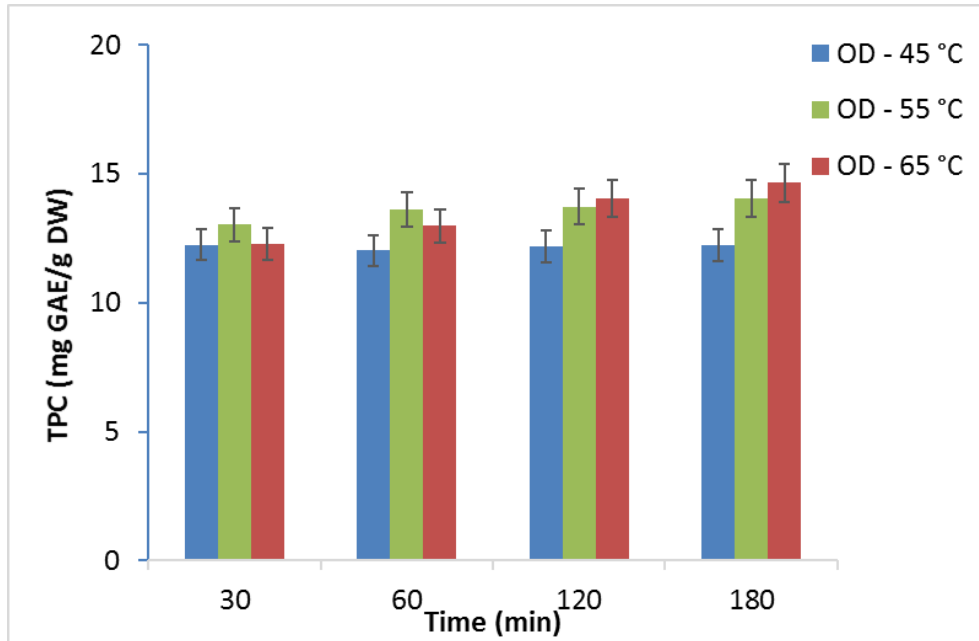
Επιπρόσθετα, η συγκέντρωση των αντιοξειδωτικών σχετίζεται και με τη συμπύκνωση του φρούτου. Η χημική αποικοδόμηση των κυττάρων κατά την κατάψυξη – απόψυξη του δείγματος πιθανώς να συντέλεσαν στην αυξημένη τιμή της αντιοξειδωτικής δράσης.

5.1.1.6 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων

Η ανάλυση της αντιοξειδωτικής δράσης και των φαινυλοπροπανοειδών σε διάφορα φαρμακευτικά κινεζικά βότανα έχει επιβεβαιώσει την παρουσία αυτών των συστατικών στα goji berries σε συγκέντρωση 22,70 mg GAE/g εκχυλίσματος (Guo et al., 2008).

Κατά την πειραματική διαδικασία, η αρχική συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων υπολογίστηκε ως $12,12 \pm 0,23$ mg GAE/g DW. Ο Zhang (2013) έδειξε πως η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών ενώσεων ανέρχεται στα $10,06 \pm 0,030$ mg GAE/g DW.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.8) παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινόλων κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C, σε ενδεικτικούς χρόνους (30, 60, 120 και 180 min):



Σχήμα 5.8: Μεταβολή του συνολικού φαινολικού περιεχομένου κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C

Η συγκέντρωση των φαινόλων μεταβάλλεται ελάχιστα στη θερμοκρασία των 45 °C. Αυτό ίσως οφείλεται στο γεγονός ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας στη θερμοκρασία αυτή δεν είναι τόσο ισχυρά. Οι Singla et al., (2010) έδειξαν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση στη θερμοκρασία των 45 °C δεν επηρέασε την περιεκτικότητα σε φαινόλες σε δείγματα μανιταριών.

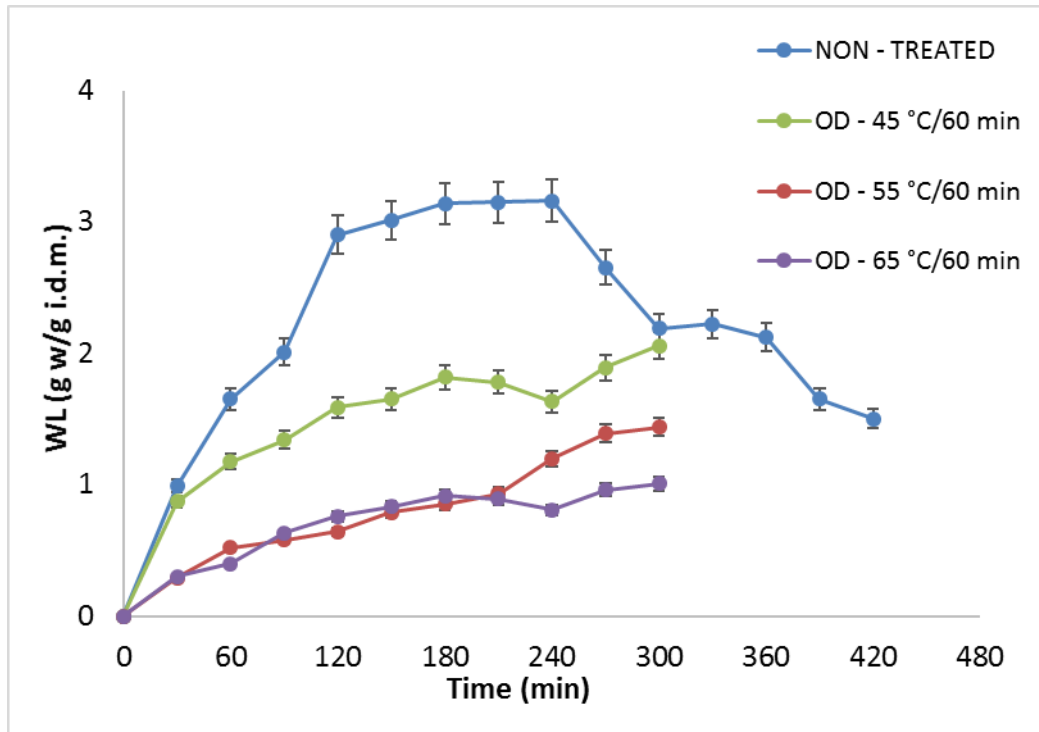
Σε ότι αφορά στις θερμοκρασίες των 55 και 65 °C οι φαινόλες αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με μεγαλύτερο ρυθμό αρχικά στους 55 °C. Οι Nambiar et al. (2016) παρατήρησαν μικρή αύξηση στην περιεκτικότητα των φαινόλων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ινδικού gooseberry.

Ωστόσο, η αύξηση του TPC από τον καρπό του goji berry στη σχετικά υψηλή θερμοκρασία των 55 και 65 °C μπορεί να οφείλεται στις αλλαγές στη δομή των κυττάρων και στη χημική αποικοδόμηση που σχετίζεται με την κατάψυξη και απόψυξη του αρχικού δείγματος.

5.1.2 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ξήρανση με Θερμό Αέρα

5.1.2.1 Απώλεια Νερού

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της υγρασίας με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός ξηρού τελικού προϊόντος. Η απώλεια της υγρασίας κατά την ξήρανση με θερμό αέρα θερμοκρασίας 60 °C για τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα (45, 55 και 65 °C), καθώς και του ανεπεξέργαστου δείγματος, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.9: Απώλεια νερού επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C

Τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική προ – επεξεργασία εμφανίζουν μικρότερη απώλεια υγρασίας κατά την ξήρανση, καθώς έχει προηγηθεί μερική αφυδάτωση. Τα goji berries που έχουν εμβαπτιστεί σε διάλυμα θερμοκρασίας 55 και 65 °C παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, κυρίως το χρονικό διάστημα 0 – 240 min, ενώ μετά ακολουθεί μικρή αύξηση για τα δείγματα που έχουν εμβαπτιστεί στο διάλυμα των 55 °C.

Όσον αφορά στα goji berries που εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα θερμοκρασίας 45 °C, εμφανίζουν αυξημένη απώλεια νερού, σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα, η οποία όμως παραμένει μικρότερη από αυτή του ανεπεξέργαστου δείγματος. Από τις διαφορές που προκύπτουν ανάμεσα στα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται για ακόμα μία φορά αντιληπτή η επίδραση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος στην ίδια τη διαδικασία αλλά και στην ξήρανση με θερμό αέρα που ακολουθεί.

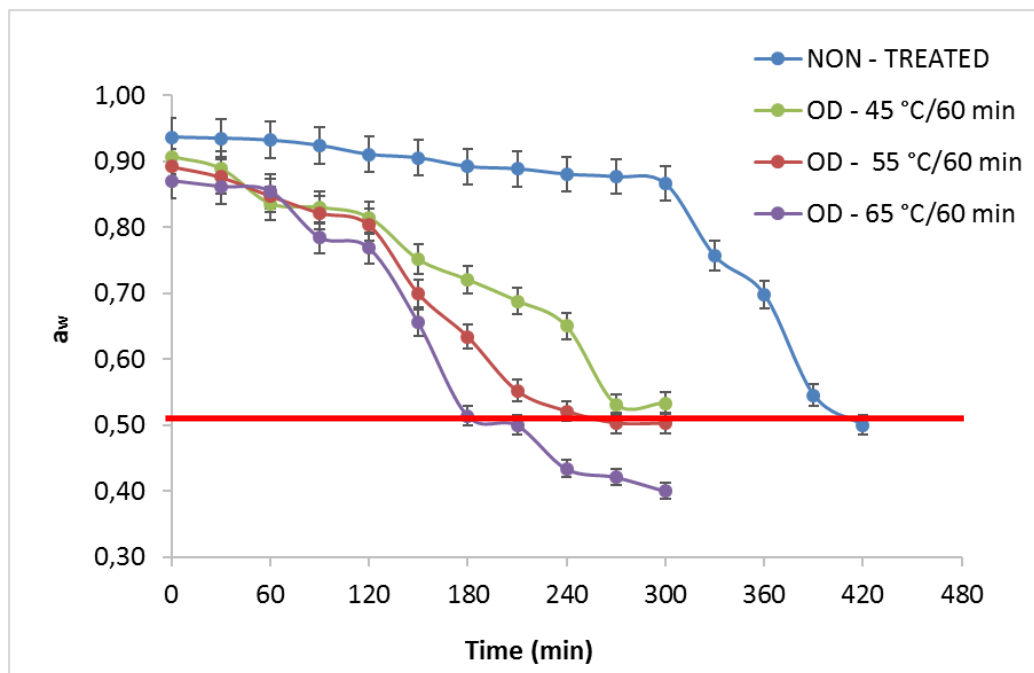
Γενικά, ο ρυθμός απώλειας νερού ήταν υψηλότερος, όπως ήταν αναμενόμενο, για τα δείγματα με υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία. Ακόμη και τα ανεπεξέργαστα δείγματα δεν έδειξαν μια σταθερή συμπεριφορά στο ρυθμό απώλειας νερού κατά την έναρξη της διαδικασίας της ξήρανσης με αέρα, λόγω της υψηλής αρχικής υγρασίας. Αυτή η συμπεριφορά είναι τυπική στην περίπτωση φρούτων (Babalís and Belessiotis, 2004) και αυτό παρατηρήθηκε επίσης σε παπάγια

(El-Aouar et al., 2003) και σε βερίκοκα (Toğrul & Pehlivan, 2003). Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – επεξεργασία της ξήρανσης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της χρονικής διάρκειας της συνολικής διεργασίας.

Υπάρχουν βιβλιογραφικά παραδείγματα, από τα οποία προκύπτει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση βελτιστοποιεί την διεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα (Fernandes et al., 2006, Garcia et al., 2007, da Costa Ribeiro et al., 2016). Οι da Costa Ribeiro et al. (2016) κατάφεραν να πετύχουν σημαντική μείωση της υγρασίας κατά την ξήρανση ωσμο – αφυδατωμένων κομματιών αχλαδιού (45 °Brix/60 min) με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου της διεργασίας, σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, η συμβατικά ξήρανση (60 °C) με την ωσμωτική αφυδάτωση ως προ – επεξεργασία είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου ξήρανσης κατά 42%, συγκριτικά με τα αχλάδια που δεν είχαν υποστεί προ – επεξεργασία.

5.1.2.2 Ενεργότητα Νερού

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.10) παρουσιάζεται η μείωση της ενεργότητας νερού κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C των ωσμο – αφυδατωμένων δειγμάτων αλλά και ανεπεξέργαστου δείγματος goji berry:



Σχήμα 5.10: Ενεργότητα νερού επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C

Όπως έχει αναφερθεί, τα επεξεργασμένα δείγματα που ξηραίνονται είναι αυτά που έχουν υποστεί 60 min ωσμωτική αφυδάτωση στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C. Η διαφορετική επίδραση της θερμοκρασίας στην ενεργότητα νερού κατά την ώσμωση εξηγεί τη μικρή διαφορά στην τιμή της ενεργότητας νερού των επεξεργασμένων δειγμάτων κατά την έναρξη της ξήρανσης.

Μέχρι και τα 60 min ξήρανσης, τα τρία δείγματα παρουσιάζουν αντίστοιχη μείωση στην ενεργότητα νερού. Στη συνέχεια τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα στους 65 °C εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη μείωση με αποτέλεσμα να αποκτήσουν την επιθυμητή τιμή ενεργότητας νερού, $a_w \approx 0,500$, τη χρονική στιγμή των 210 min.

Όσον αφορά στο ανεπεξέργαστο δείγμα, παρατηρείται ότι η ενεργότητα νερού μειώνεται με σταθερό και αργό ρυθμό μέχρι και τα 300 min, ενώ στη συνέχεια και μέχρι τα 480 min ακολουθεί απότομη μείωση μέχρι την επιθυμητή τιμή ενεργότητας νερού. Διαπιστώνεται ότι με την ωσμωτική αφυδάτωση ως προ – κατεργασία της ξήρανσης είναι δυνατή η παραγωγή του ίδιου ξηρού προϊόντος, όσον αφορά στην ενεργότητα νερού, σε μικρότερο χρόνο.

5.1.2.3 Σταθερά Ρυθμού Ξήρανσης

Η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης με θερμό αέρα στη θερμοκρασία των 60 °C παρουσιάζεται στον πίνακα 5.5, όπως υπολογίστηκε σύμφωνα με το εκθετικό μοντέλο (εξίσωση 4.9):

Πίνακας 5.5: Τιμές σταθεράς ρυθμού ξήρανσης k_d

ΔΕΙΓΜΑ	$k_d (\cdot 10^{-4} h^{-1})$
NON – TREATED	0,49a
OD – 45 °C/60 min	1,00b
OD – 55 °C/60 min	1,14b
OD – 65 °C/60 min	1,60c

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Όπως φαίνεται, η προ – επεξεργασία των δειγμάτων goji berry με την ωσμωτική αφυδάτωση είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του σταθερού ρυθμού διάχυσης υγρασίας κατά την ξήρανση δειγμάτων goji berry με θερμό αέρα στους 60 °C. Επιπλέον, όπως προκύπτει από τις παραπάνω τιμές, η θερμοκρασία της ωσμωτικής προ – επεξεργασίας επηρεάζει και τη διεργασία της ξήρανσης. Τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα μεγαλύτερης θερμοκρασίας εμφανίζουν αυξημένο ρυθμό διάχυσης νερού.

5.1.2.4 Μεταβολή Χρώματος

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ξήρανσης, λαμβάνουν χώρα χημικές αλλαγές στις χρωστικές ενώσεις, όπως είναι τα καροτενοειδή και η χλωροφύλλη λόγω της θερμότητας. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ξήρανσης και υψηλότερη η θερμοκρασία, τόσο εντονότερες είναι οι αλλαγές που παρατηρούνται στο χρώμα (Nikjoo and Sayede, 2014).

Η ποιότητα (χρώμα, γεύση και υφή) των αποξηραμένων με αέρα φρούτων και λαχανικών μπορεί να βελτιωθεί συμπεριλαμβανοντας ένα προ – ωσμωτικό στάδιο αφυδάτωσης (Falade and Oyedele, 2010).

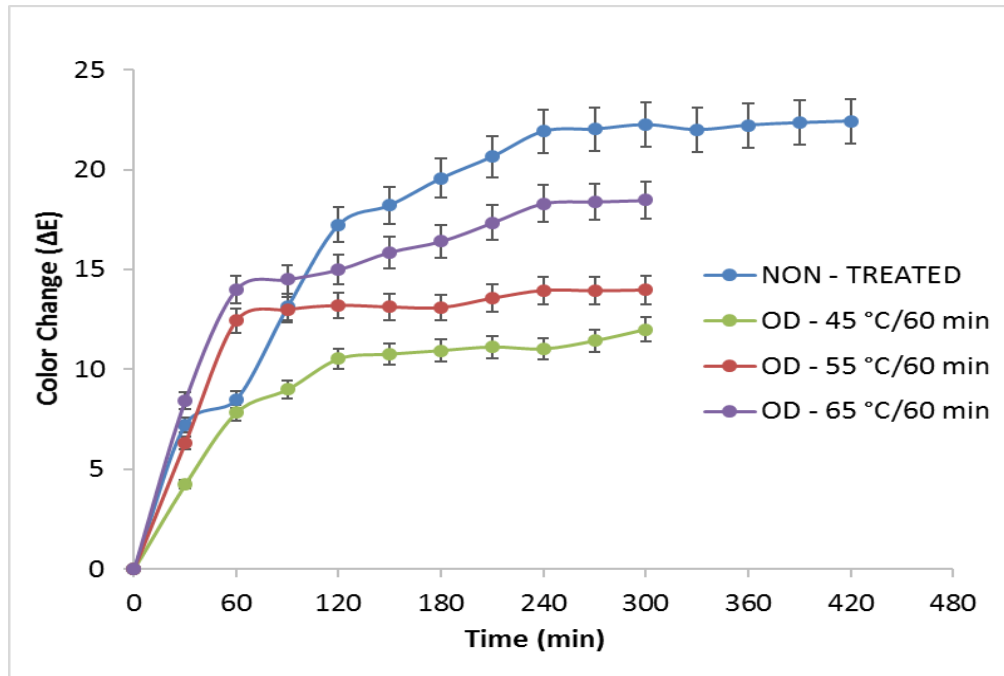
Η τιμή των παραμέτρων του χρώματος L, a και b κατά την έναρξη των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5.6: Τιμές παραμέτρων χρώματος L, a και b κατά την έναρξη της ξήρανσης σε θερμοκρασία 60 °C των ωσμω – αφυδατωμένων και μη δειγμάτων goji berry

Δείγμα	t (min)	L	a	b
NON – TREATED	0	39,99 ± 0,20a	29,68 ± 1,31a	23,67 ± 1,82a
OD – 45 °C (60 min OD)		37,74 ± 0,72b	27,78 ± 1,58b	21,52 ± 1,12b
OD – 55 °C (60 min OD)		38,56 ± 1,07b	26,51 ± 0,40c	21,67 ± 0,89b
OD – 65 °C (60 min OD)		39,01 ± 0,95ab	27,37±1,91b	22,32±2,28b

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.11) παρατίθεται η μεταβολή του συνολικού χρώματος όλων των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ξήρανσης με θερμό αέρα στη θερμοκρασία των 60 °C:



Σχήμα 5.11: Συνολική μεταβολή χρώματος επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C

Είναι προφανές ότι η ξήρανση του ανεπεξεργαστού δείγματος οδήγησε σε μεγαλύτερη μεταβολή – υποβάθμιση του χρώματος. Η πολύωρη διαδικασία, συγκριτικά με τα ωστωμένα δείγματα, είχε ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των καροτενοειδών ουσιών, οι οποίες είναι κύριες χρωστικές ουσίες στο goji berry.

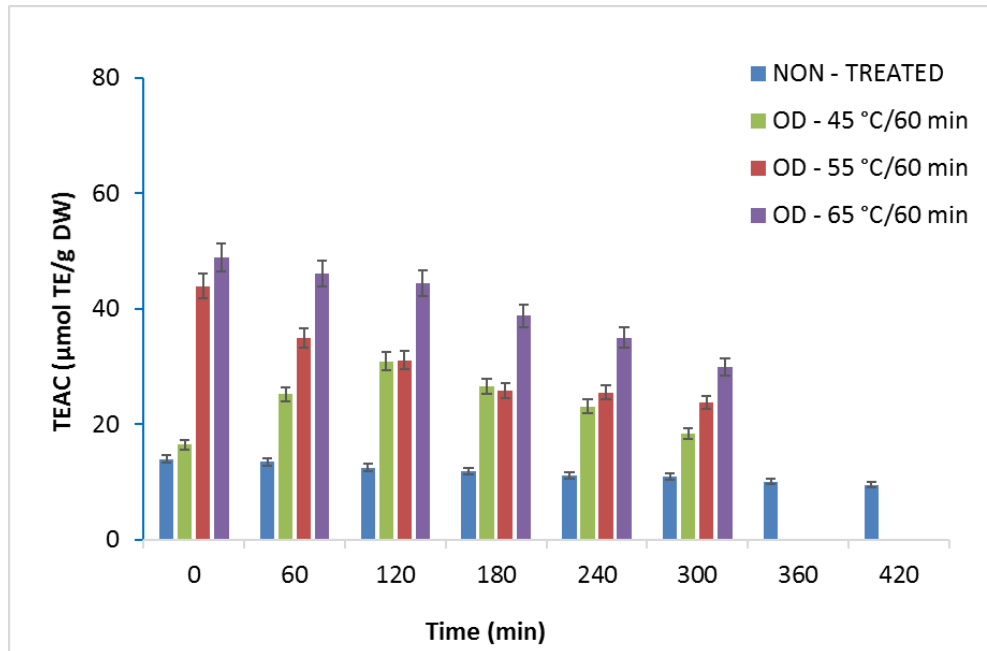
Η μεταβολή του χρώματος είναι μικρότερη για τα επεξεργασμένα δείγματα. Μικρότερη μεταβολή παρουσιάζουν τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα θερμοκρασίας 45 °C, ενώ μεγαλύτερη αυτά που εμβαπτίστηκαν σε ωστωτικό διάλυμα θερμοκρασίας 65 °C.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μεταβολή του χρώματος ΔΕ δεν αναφέρεται στις ίδιες αρχικές τιμές (Πίνακας 5.6), και επομένως τα δείγματα δεν είναι απόλυτα συγκρίσιμα.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι η επίδραση της ξήρανσης με θερμό αέρα στην υποβάθμιση του χρώματος είναι μεγαλύτερη όταν δεν υπάρχει το στάδιο της ωστωτικής προ – επεξεργασίας.

5.1.2.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μεταβολή των αντιοξειδωτικών κατά την ξήρανση με θερμό αέρα των ωσω – αφυδατωμένων δειγμάτων goji berry σε ωστωτικό διάλυμα θερμοκρασίας 45, 55 και 65 °C. Η ξήρανση που ακολούθησε πραγματοποιήθηκε στη θερμοκρασία των 60 °C.



Σχήμα 5.12: Συνολική μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C

Τα αντιοξειδωτικά είναι θερμο – ευαίσθητες ουσίες και η έκθεσή τους σε θερμό ή οξειδωτικό περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα την αποικοδόμησή τους. Η μείωση αυτή είναι πιο έντονη για τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα θερμοκρασίας 55 και 65 °C . Ωστόσο, η πρόσληψη του ασκορβικού οξέος μέσω του ωσμωτικού διαλύματος οδήγησε στην παραγωγή ενός τελικού προϊόντος με ενισχυμένη αντιοξειδωτική δράση, συγκριτικά με το αρχικό αποψυγμένο (freeze – thawed) δείγμα. Σε αυτά τα δείγματα η μείωση των αντιοξειδωτικών στο τέλος της διαδικασίας αγγίζει περίπου το ποσοστό 45%.

Το ανεπεξέργαστο δείγμα εμφάνισε μείωση στα αντιοξειδωτικά, η οποία πραγματοποιήθηκε με αργό ρυθμό και δεν ξεπέρασε το ποσοστό 28,5% στο τελικό προϊόν. Την ίδια συμπεριφορά ως προς τη μείωση των αντιοξειδωτικών διέκριναν και οι Rodriguez et al. (2015) κατά την ξήρανση maqui berries σε θερμοκρασίες που κυμαίνονταν από 40 – 80 °C.

Ωστόσο, το δείγμα που εμβαπτίστηκε στο διάλυμα των 45 °C παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά, συγκριτικά με όλα τα υπόλοιπα δείγματα. Αρχικά, παρουσιάζεται αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης από την έναρξη της διαδικασίας μέχρι και τα 120 min, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί μείωση. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τόσο παραδείγματα μείωσης της αντιοξειδωτικής δράσης, όπως είναι σύνηθες, κατά την εφαρμογή θερμικής διεργασίας, αλλά είναι επίσης συχνά τα παραδείγματα αύξησης των αντιοξειδωτικών κατά την παραγωγή ξηρού προϊόντος. Οι Arslan and Ozcan (2011), επιχείρησαν την αφυδάτωση κόκκινων πιπεριών με την απλή ξήρανση στον ήλιο, σε συμβατικό φούρνο (50 και 70 °C) αλλά και σε φούρνο μικροκυμάτων (210 και 700 W). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και από τις τρεις μεθόδους για τα

αντιοξειδωτικά δείχνουν ότι σε όλα τα δείγματα η αντιοξειδωτική δράση ήταν αυξημένη μέχρι και πέντε φορές σε σύγκριση με το ανεπεξεργαστο δείγμα. Οι Choi et al. (2006) θεώρησαν ότι η αύξηση των αντιοξειδωτικών κατά την εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας (70 °C για 30 min) σε μανιτάρια, ήταν αποτέλεσμα της κυτταρικής διάρρηξης και της απελευθέρωσης αντιοξειδωτικών ουσιών.

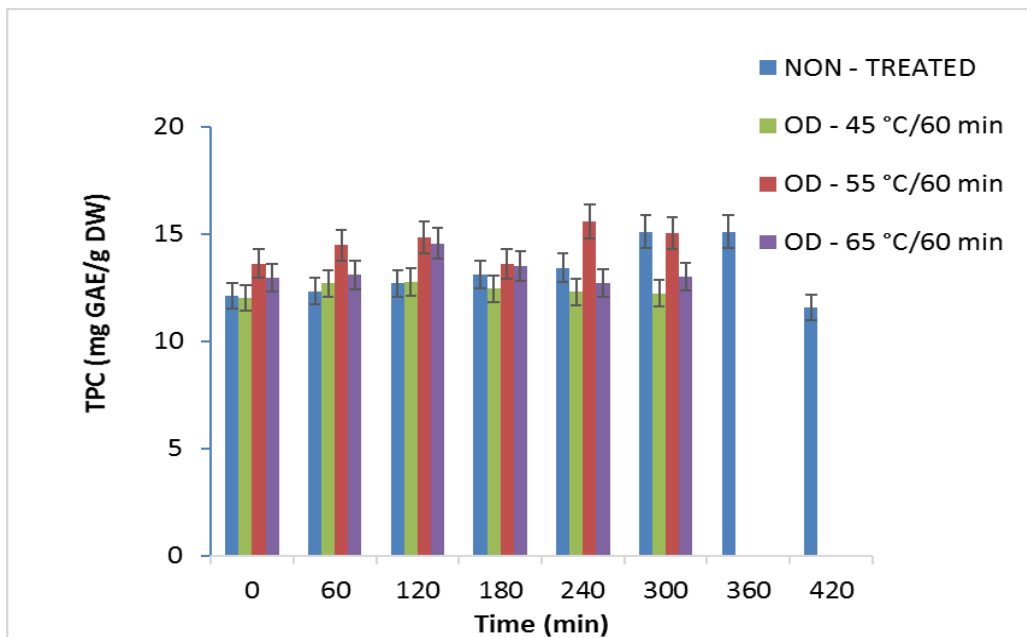
Επομένως, προκύπτει ότι η καταστροφή ή η αύξηση των αντιοξειδωτικών ουσιών κατά την ξήρανση είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων και θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω.

Σε κάθε περίπτωση, η ωσμωτική αφυδάτωση είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός βελτιωμένου τελικού προϊόντος όσον αφορά στα αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά.

5.1.2.6 Προσδιορισμός Περιεκτικότητας Φαινολικών Ενώσεων

Οι φαινολικές ενώσεις είναι παρούσες στα φυτικά τρόφιμα, και ως εκ τούτου, μια σημαντική ποσότητα που καταναλώνεται στην καθημερινή διατροφή μας. Είναι στενά συνδεδεμένες με την οργανοληπτική και διατροφική ποιότητα των φρέσκων και επεξεργασμένων φυτικών τροφών. Η αντιοξειδωτική δράση των φαινολικών ενώσεων έχει αναγνωριστεί εδώ και δεκαετίες.

Στο σχήμα (Σχήμα 5.13) που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή των ολικών φαινολικών ενώσεων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στη θερμοκρασία των 60 °C των επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση και μη δειγμάτων goji berry:



Σχήμα 5.13: Συνολική μεταβολή συνολικής φαινολικής περιεκτικότητας επεξεργασμένων και μη δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα σε θερμοκρασία 60 °C

Κατά την ξήρανση των δειγμάτων goji berry παρατηρείται αύξηση στη συνολική φαινολική περιεκτικότητα τόσο στο δείγμα control, όσο και στα goji berries που έχουν υποστεί ωσμωτική προ – επεξεργασία.

Η αύξηση αυτή παρατηρείται από την έναρξη της διαδικασίας μέχρι και τα 300 min, στη συνέχεια ακολουθεί η μείωση. Η αύξηση των φαινόλων κατά την ξήρανση παρατηρείται κυρίως για τα δείγματα που έχουν εμβαπτιστεί σε ωσμωτικό διάλυμα θερμοκρασίας 55 και 65 °C, καθώς και για το ανεπεξέργαστο δείγμα.

Η ασυνήθιστη αύξηση του TPC που παρουσιάζεται από τον καρπό του goji berry πιθανώς να είναι το αποτέλεσμα των αλλαγών στη δομή των κυττάρων και τη χημική αποικοδόμηση που σχετίζεται με την κατάψυξη και την επακόλουθη απόψυξη. Οι Alfaro et al., (2014) παρατήρησαν αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες σε δείγματα μύρτιλλου μετά από 8 ώρες ξήρανσης με θερμό αέρα στους 65 °C.

Οι Seratossa et al., (2011) υπέθεσαν ότι η αύξηση της συγκεντρώσεων των φαινολικών ενώσεων κατά την ξήρανση κόκκινων σταφυλιών, ήταν αποτέλεσμα της εξάτμισης του νερού, της βελτιωμένης εκχύλιση από το φλοιό, και ενώσεων υδρόλυσης ή και βιοσύνθεσης.

Επιπλέον, η αύξηση του φαινολικού περιεχομένου, στο ανεπεξέργαστο δείγμα, θα μπορούσε να εξηγηθεί με το σχηματισμό προϊόντων της αντίδρασης Maillard, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει τη δημιουργία νέων φαινολικών ενώσεων κατά την διάρκεια θερμικών κατεργασιών (Que et al., 2008, Sultana et al., 2012).

Η αύξηση αυτή ακολουθείται από μια μείωση. Η τελική συγκέντρωση σε φαινόλες στο δείγμα control υπολογίστηκε ίση με $11,57 \pm 0,58$ mg GAE/g DW, δηλαδή μικρότερη από την αρχική όπως αναμενόταν. Οι Benchennouf et al., (2016) πραγματοποίησαν μέτρηση του φαινολικού περιεχομένου σε ξηρό goji berry, κρητικής προέλευσης, και το αποτέλεσμα κυμαινόταν από 14,13 – 109,72 mg GAE/g dry weight. Η μεγάλη αυτή διαφορά οφείλεται στους διαφορετικούς διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων του goji berry. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των τιμών των ποιοτικών δεικτών όπως είναι τα βιοδραστικά συστατικά σχετίζονται και με τον τόπο καλλιέργειας, την ωρίμανση και άλλες σημαντικές παραμέτρους.

Τέλος, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, η ωσμωτική αφυδάτωση είχε προστατευτικές και ενισχυτικές ιδιότητες των φαινολικών ουσιών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

5.1.3 Μελέτη Διατηρησιμότητας – Προσδιορισμός Διάρκειας Ζωής

Όλα τα προϊόντα διατροφής αποτελούνται από βιολογικές πρώτες ύλες. Τα βιολογικά προϊόντα εκ φύσεως χαλάνε και χειροτερεύουν με το πέρασμα του χρόνου. Αυτή η αλλοίωση και η φθορά δεν μπορεί να σταματήσει. Ωστόσο, η επιθυμία των επιχειρήσεων επεξεργασίας τροφίμων είναι να επιβραδύνουν την ταχύτητα επιδείνωσης όσο το δυνατόν περισσότερο μέσω της επεξεργασίας, της συσκευασίας, της αποθήκευσης. Σε γενικές γραμμές, ένα τρόφιμο θεωρείται χάλασε όταν δεν είναι πλέον αποδεκτό από τον καταναλωτή. Η χειρότερη περίπτωση αλλοίωσης είναι όταν τίθεται ζήτημα ασφάλειας των τροφίμων, όπου το τρόφιμο μπορεί να προκαλέσει την ασθένεια των καταναλωτών ή ακόμη και θάνατο. Ωστόσο, οι λιγότερο σοβαρές περιπτώσεις αλλοίωσης των τροφίμων μπορεί να είναι απλώς ότι το χρώμα, τη γεύση, την υφή ή το άρωμα των τροφίμων έχουν υποβαθμιστεί σε σημείο που δεν είναι πλέον αποδεκτά. Μια άλλη περίπτωση αλλοίωσης θα μπορούσε να είναι ότι οι θρεπτικές ουσίες (π.χ. περιεκτικότητα σε βιταμίνες) στα τρόφιμα έχουν μειωθεί σε σημείο που το τρόφιμο δεν πληροί πλέον τη θρεπτική του αξία. Ο χρόνος που απαιτείται για ένα προϊόν διατροφής για να φτάσει μία από αυτές τις συνθήκες αλλοίωσης ονομάζεται διάρκεια ζωής του προϊόντος (Singh, and Anderson, 2004).

5.1.3.1 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο στα τελικά ξηρά προϊόντα Goji, εξετάστηκε η μεταβολή των εξής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο αποθήκευσης: χρώμα, υφή στο στόμα, οσμή, γεύση και συνολική εντύπωση. Οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα που είχαν προ – επεξεργαστεί με ωσμωτική αφυδάτωση στους 55 °C για 60 min, καθώς και για τα απλά αποξηραμένα δείγματα με θερμό αέρα, για τις θερμοκρασίες αποθήκευσης, 25 και 35 και 45 °C. Ένα δείγμα θεωρείται μη αποδεκτό όταν η βαθμολογία του είναι μικρότερη από 5.

Ακολουθεί προσαρμογή των αποτελεσμάτων του οργανοληπτικού ελέγχου, για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, για όλα τα δείγματα, σε μία εκθετική εξίσωση της μορφής:

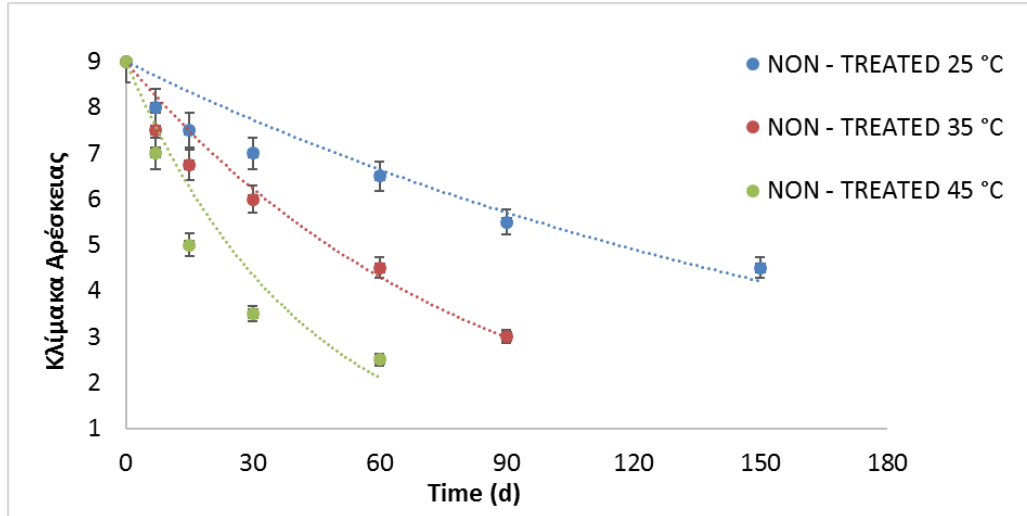
$$S = S_0 e^{-kt} \quad (5.2)$$

Όπου, S: η βαθμολογία του δείγματος για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, σε κλίμακα αρέσκειας 1 – 9, S₀: η βαθμολογία του δείγματος για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό σε χρόνο αποθήκευσης 0, (S₀ = 9), k: ο ρυθμός μεταβολής του κάθε οργανοληπτικού χαρακτηριστικού (d⁻¹) και t: ο χρόνος συντήρησης των δειγμάτων (d).

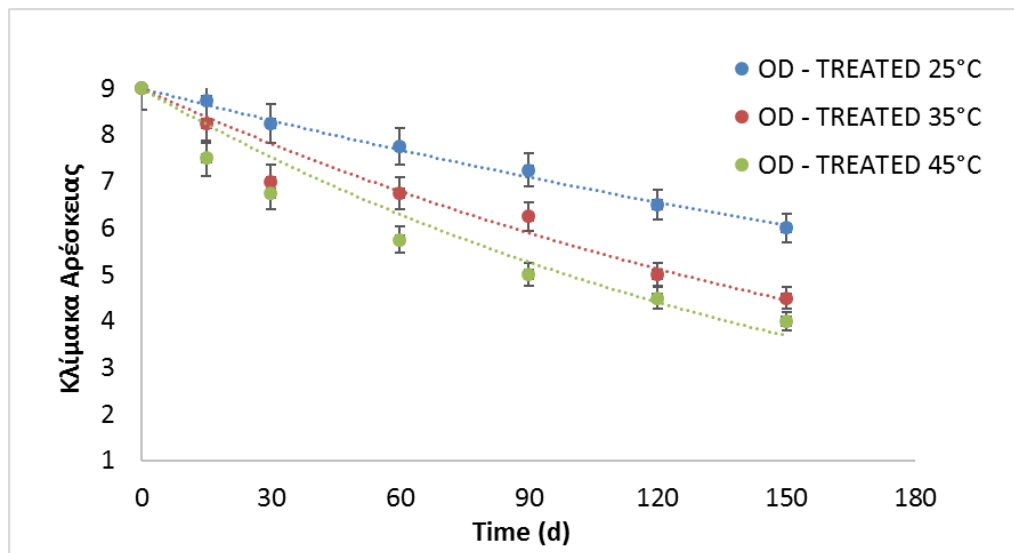
Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης E_a και ο ρυθμός μεταβολής σε θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} = 25 °C.

Χρώμα

Παρακάτω, παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολής του χρώματος με το χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων Goji, στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C:



Σχήμα 5.14: Μεταβολή του οργανοληπτικού χρώματος κατά την αποθήκευση ανεπεξεργαστων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C



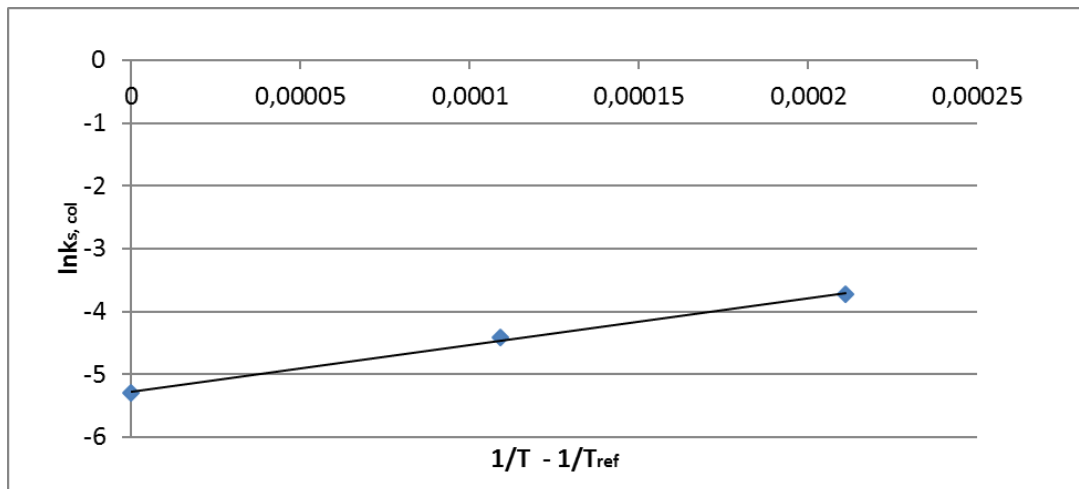
Σχήμα 5.15: Μεταβολή του οργανοληπτικού χρώματος κατά την αποθήκευση προ – επεξεργασμένων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C

Με προσαρμογή κινητικής πρώτης τάξης στα δεδομένα υπολογίστηκαν οι ρυθμοί υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος οι οποίοι παρουσιάζονται μαζί με τους συντελεστές συσχέτισης (R^2) που προέκυψαν στον πίνακα:

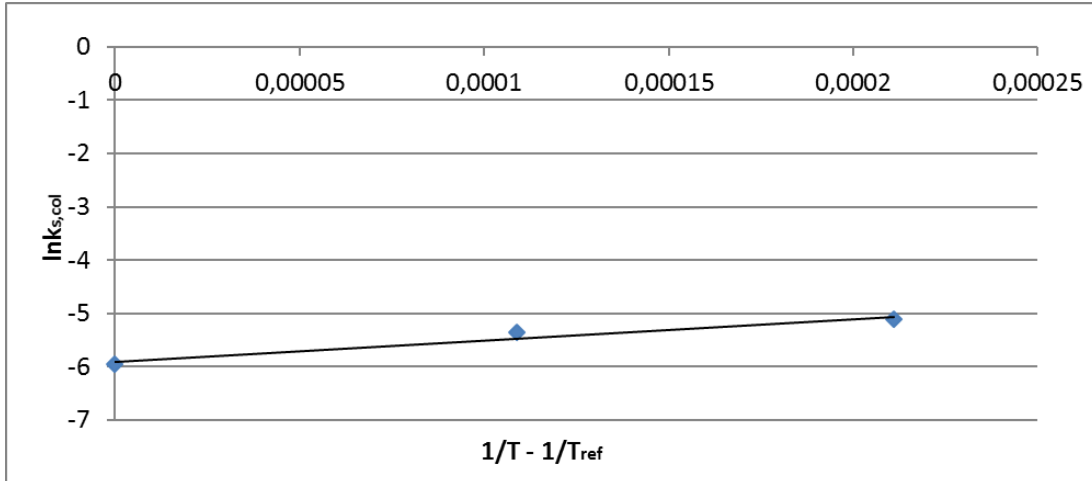
Πίνακας 5.7: Σταθερές ρυθμού υποβάθμισης χρώματος, $k_{s,col}$, και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξεργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	$k_{s,col}$ (d ⁻¹)	R^2
NON – TREATED	25	0,0050	0,8968
	35	0,0120	0,9702
	45	0,0240	0,8738
OD – TREATED	25	0,0026	0,9935
	35	0,0047	0,9558
	45	0,0060	0,9232

Η εξάρτηση του ρυθμού υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος με τη θερμοκρασία αποθήκευσης παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα, όπως προέκυψε από την εξίσωση Arrhenius:



Σχήμα 5.16: Εξάρτηση του ρυθμού υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος από τη θερμοκρασία για αποθηκευμένα δείγματα goji berry μη επεξεργασμένα



Σχήμα 5.17: Εξάρτηση του ρυθμού υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος από τη θερμοκρασία για αποθηκευμένα δείγματα goji berry προ – επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση στους 55 °C για 60 min

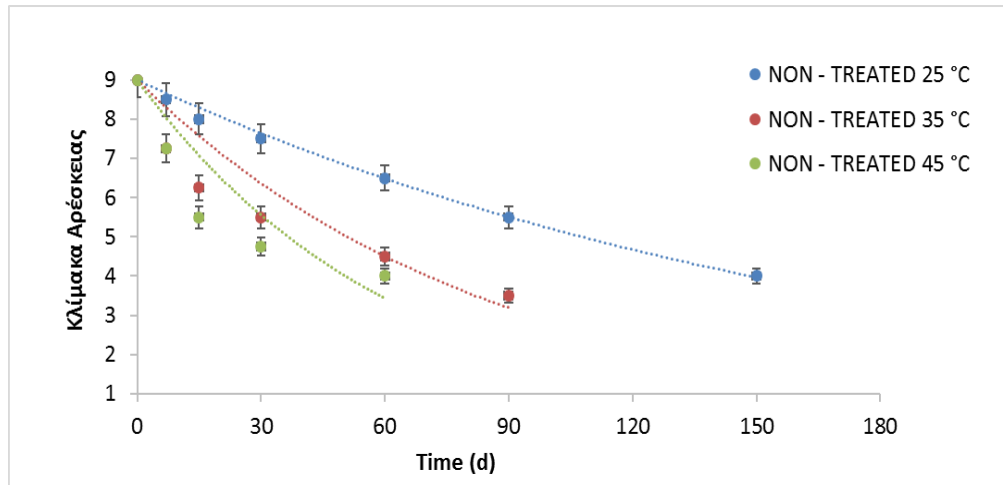
Πίνακας 5.8: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή του οργανοληπτικού χρώματος στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25$ °C

ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d ⁻¹)	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0051	61,85 ± 2,99	0,9977
OD – TREATED	0,0027	33,08 ± 7,29	0,9537

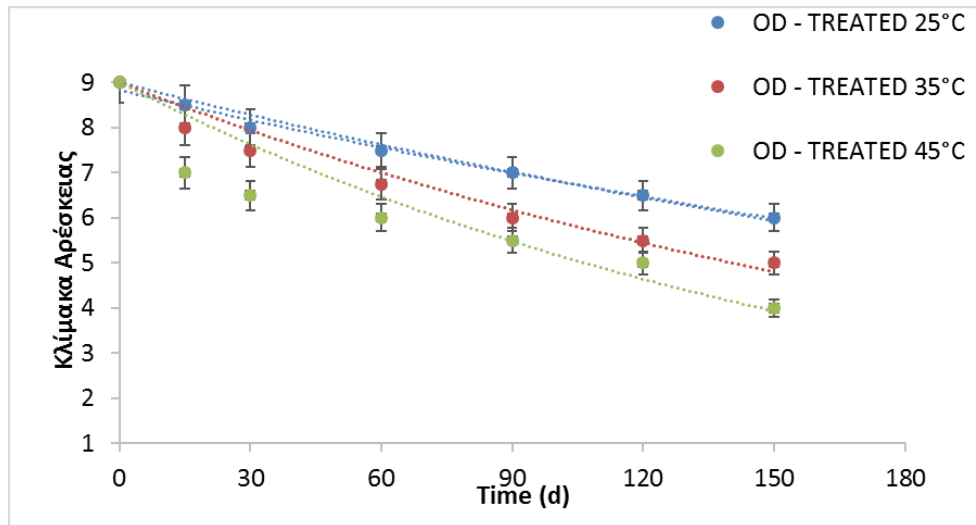
Παρατηρείται ότι, ο ρυθμός υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος είναι πολύ μεγαλύτερος για τα ανεπεξέργαστα δείγματα και η διαφορά με τα επεξεργασμένα δείγματα είναι η τετραπλάσια για τους 45 °C. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι επιβλαβής για τις χρωστικές ουσίες των φρούτων. Επιπλέον, επιταχύνει τις αντιδράσεις μη ενζυμικού μαυρίσματος Maillard. Όπως φαίνεται και τόσο από τα διαγράμματα (Σχήμα 5.16 και Σχήμα 5.17) καθώς και τις τιμές των ρυθμών υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος, η ωσμωτική προ – επεξεργασία βοηθά στη διατήρηση του χρώματος κατά την αποθήκευση του τελικού προϊόντος, ακόμα και σε δυσμενείς συνθήκες, όπως είναι οι 45 °C. Οι τιμές της ενέργειας ενεργοποίησης δηλώνουν τη μεγαλύτερη εξάρτηση του ρυθμού υποβάθμισης του οργανοληπτικού χρώματος με τη θερμοκρασία, κατά την αποθήκευση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων.

Υφή

Η μεταβολή της υφής κατά την αποθήκευση των προ – επεξεργασμένων και μη ξηρών προϊόντων goji berry στις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C παρουσιάζεται στα ακόλουθα σχήματα:



Σχήμα 5.18: Μεταβολή της υφής κατά την αποθήκευση ανεπεξεργαστων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C



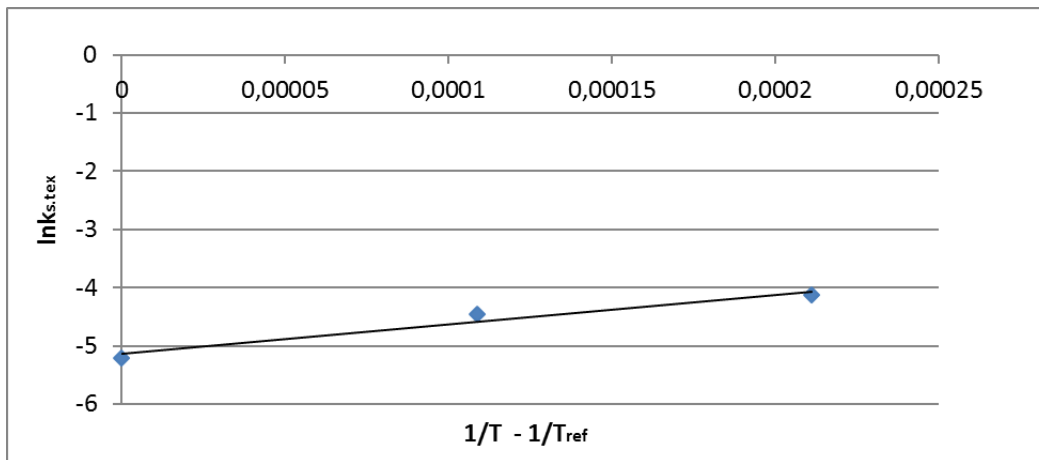
Σχήμα 5.19: Μεταβολή της υφής κατά την αποθήκευση προ – επεξεργασμένων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί υποβάθμισης του οργανοληπτικού χαρακτηριστικού υφή, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης:

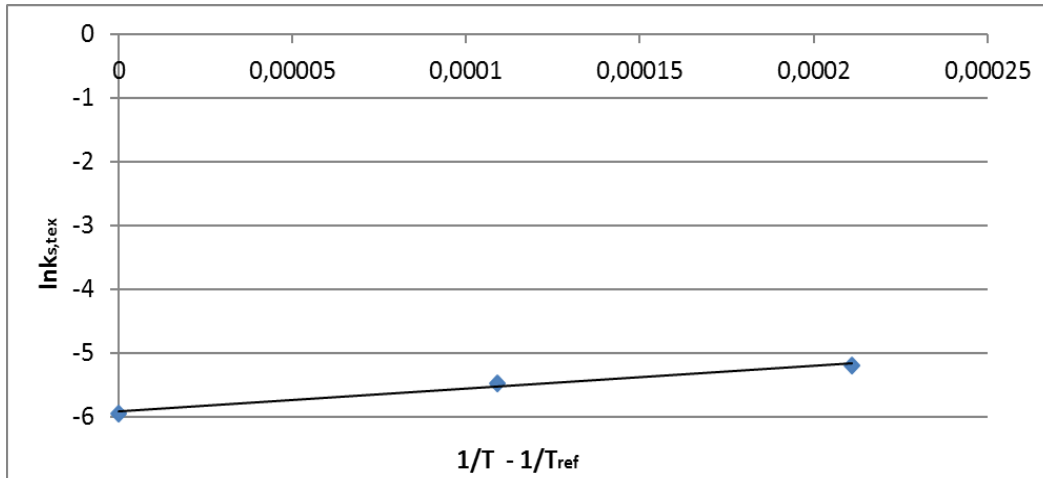
Πίνακας 5.9: Σταθερές ρυθμού υποβάθμισης της υφής, $k_{s, \text{tex}}$, και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	$k_{s, \text{tex}}$ (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0055	0,9958
	35	0,0115	0,8503
	45	0,0161	0,7115
OD – TREATED	25	0,0026	0,9930
	35	0,0042	0,9623
	45	0,0055	0,8365

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.20: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής σε δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.21: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής σε δείγματα προ – επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή της υφής και ο ρυθμός μεταβολής της υφής k_{ref} , στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

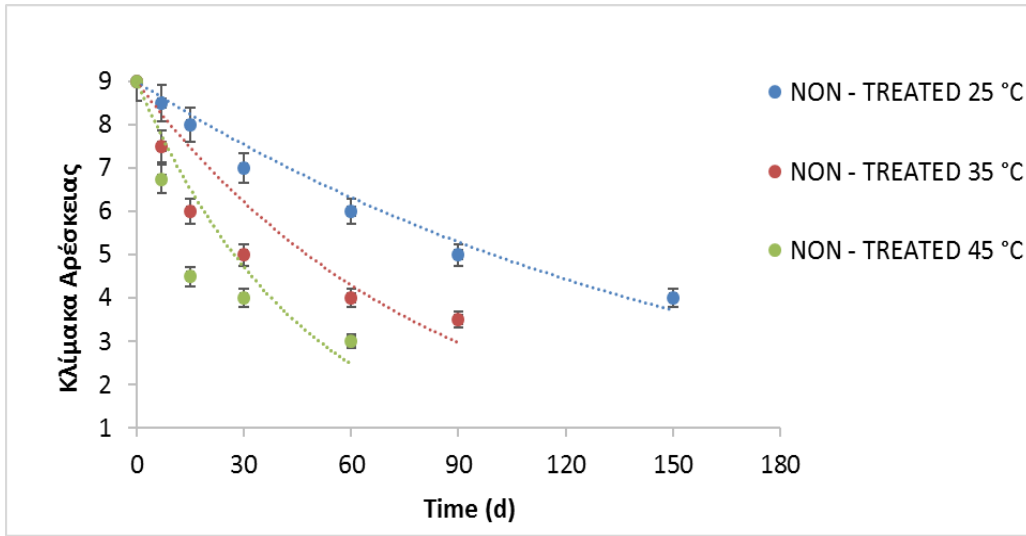
Πίνακας 5.10: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή της υφής στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

ΔΕΙΓΜΑ	$k_{ref} \text{ (d}^{-1}\text{)}$	$E_a \text{ (kJ/mol)}$	R^2
NON – TREATED	0,0058	46,26 ± 10,42	0,9630
OD – TREATED	0,0027	21,99 ± 2,99	0,9801

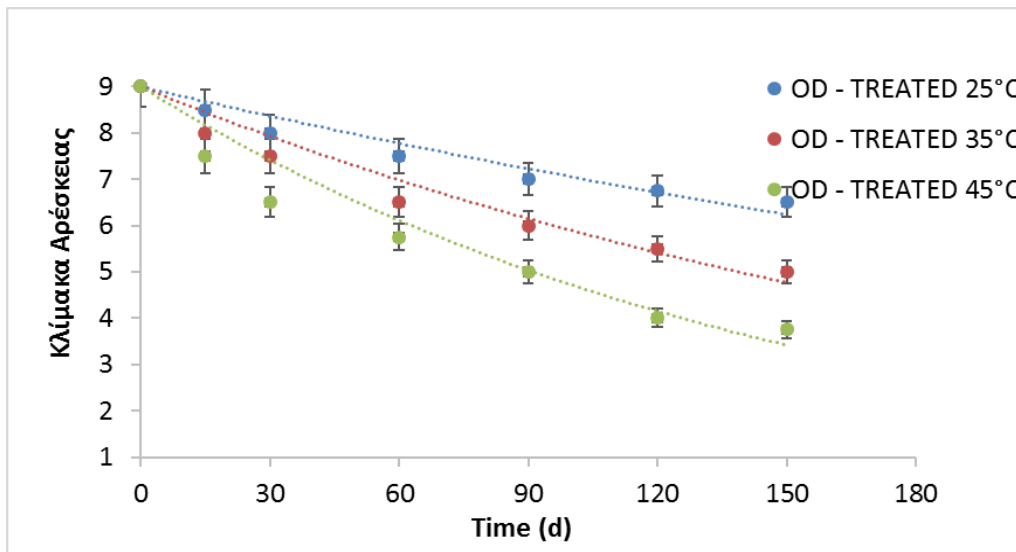
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα και τους πίνακες, ο ρυθμός υποβάθμισης της υφής είναι μεγαλύτερος για τα δείγματα που δεν έχουν υποστεί προ – επεξεργασία. Παρατηρείται ότι, η αύξηση του ρυθμού είναι πολύ μεγαλύτερη με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης κατά 10 °C στα ανεπεξέργαστα δείγματα, συγκριτικά με τα ωσμω – επεξεργασμένα δείγματα. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην υφή του δείγματος εκφράζεται με την ενέργεια ενεργοποίησης, η οποία, όπως και αναμενόταν, είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων.

Γεύση

Ο ρυθμός αλλοίωσης της γεύσης, όπως προέκυψε από τον οργανοληπτικό έλεγχο, των διάφορων ξηρών προϊόντων goji berry κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C, παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.22: Μεταβολή της γεύσης κατά την αποθήκευση ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C



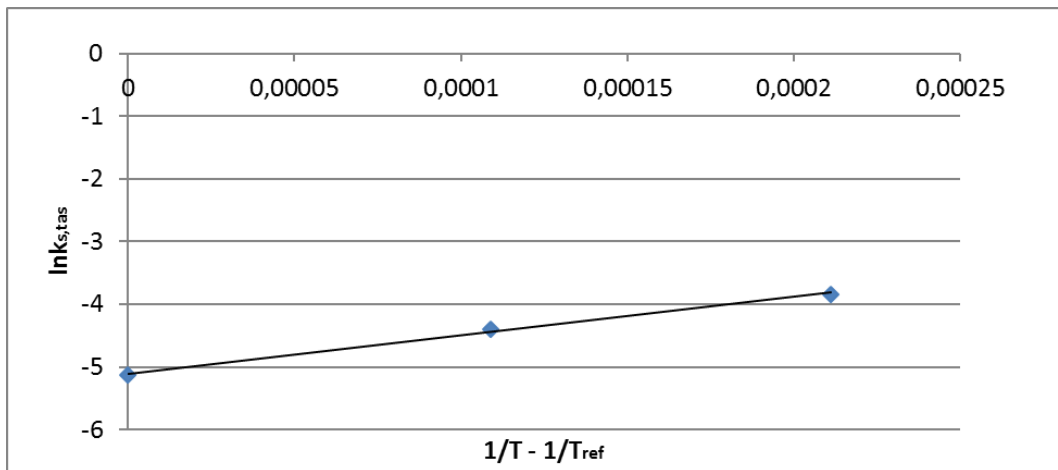
Σχήμα 5.23: Μεταβολή της γεύσης κατά την αποθήκευση προ – επεξεργασμένων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί υποβάθμισης της γεύσης, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης:

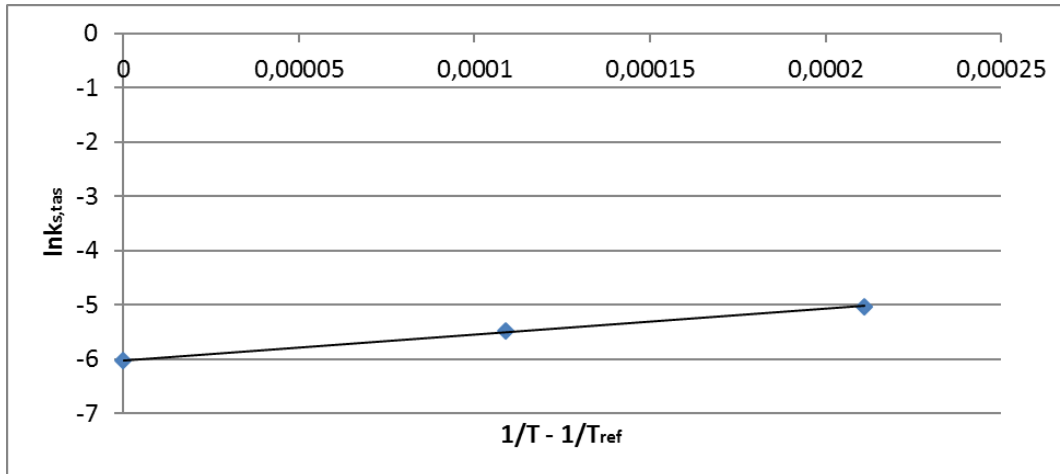
Πίνακας 5.11: Σταθερές ρυθμού υποβάθμισης της γεύσης, $k_{s,tas}$, και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	$k_{s,tas}$ (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0059	0,9665
	35	0,0123	0,7917
	45	0,0215	0,7089
OD – TREATED	25	0,0024	0,9283
	35	0,0042	0,9472
	45	0,0065	0,9381

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.24: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης σε δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.25: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης σε προ – επεξεργασμένα δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή της γεύσης καθώς ο ρυθμός μεταβολής της k_{ref} , στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.12: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή της γεύσης στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25$ °C

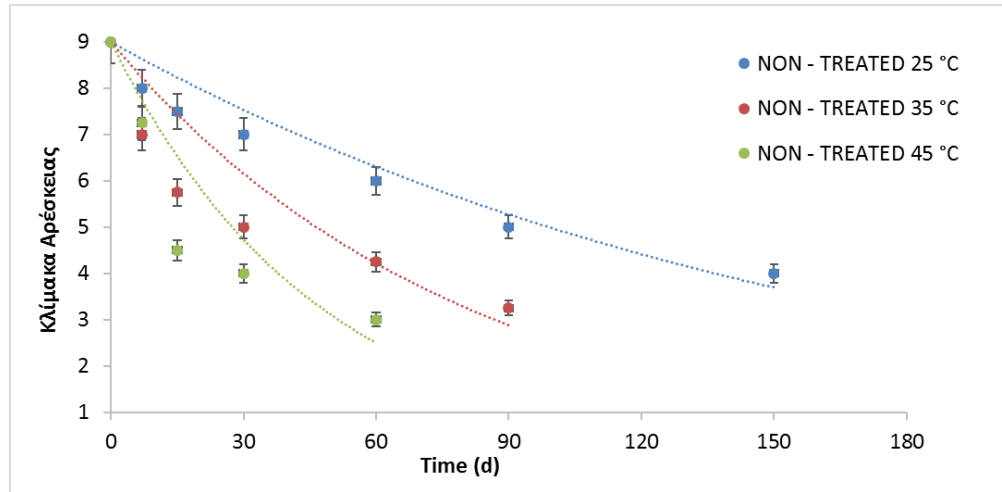
ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d ⁻¹)	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0060	51,00 ± 1,02	0,9964
OD – TREATED	0,0024	39,29 ± 2,06	0,9973

Όσον αφορά στη γεύση, ο ρυθμός αλλοίωσης είναι παρόμοιος με αυτόν του χρώματος. Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη γεύση και ο ρυθμός αλλοίωσης είναι περίπου ο τετραπλάσιος στους 45 °C, σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό ισχύει στα ανεπεξέργαστα δείγματα. Όπως φαίνεται, η ωσμωτική επεξεργασία έχει προστατευτική δράση στη διατήρηση της γεύσης κατά την αποθήκευση ακόμα και στους 45 °C. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την ενέργεια ενεργοποίησης, η οποία για τα ανεπεξέργαστα δείγματα είναι μεγαλύτερη, συγκριτικά με τα επεξεργασμένα.

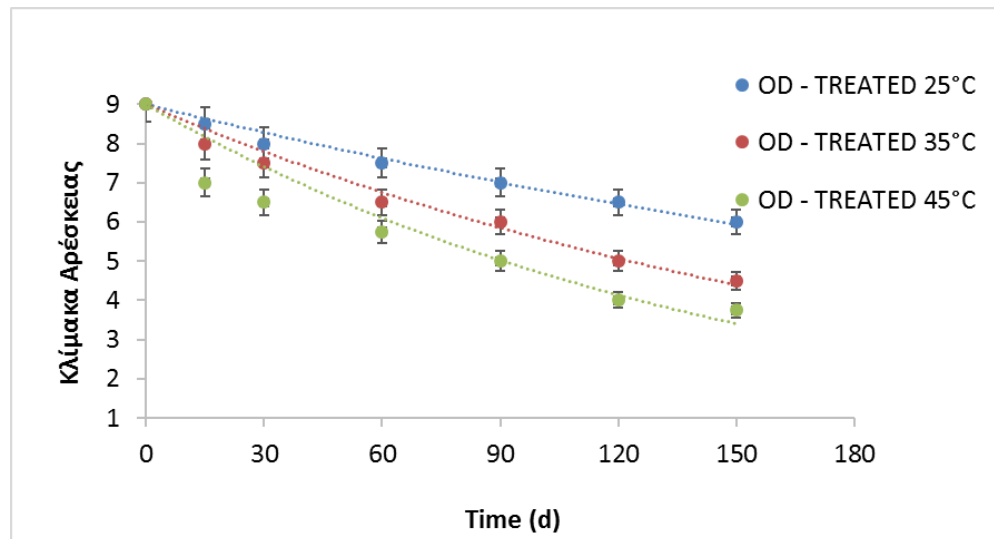
Συνολική Εντύπωση

Το οργανοληπτικό χαρακτηριστικό συνολική εντύπωση, είναι ίσως το πιο σημαντικό από όσα έχουν αναφερθεί, καθώς από αυτό συνήθως κρίνεται η αποδοχή του τελικού προϊόντος από το καταναλωτικό κοινό.

Στα παρακάτω σχήματα αποτυπώνεται ο ρυθμός μεταβολής της συνολικής εντύπωσης των διάφορων τελικών προϊόντων goji berry κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης στους 25, 35 και 45 °C, όπως προέκυψε από τον οργανοληπτικό έλεγχο:



Σχήμα 5.26: Μεταβολή της συνολικής εντύπωσης κατά την αποθήκευση ανεπεξεργαστων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C



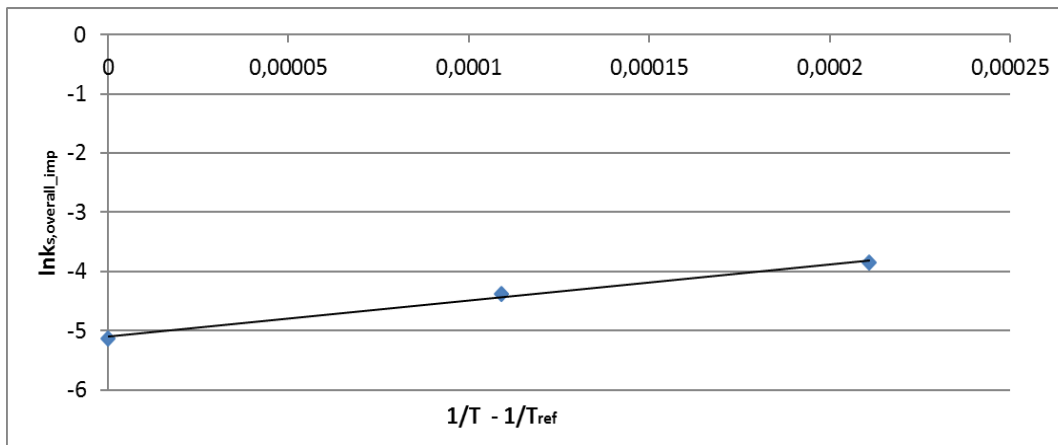
Σχήμα 5.27: Μεταβολή της συνολικής εντύπωσης κατά την αποθήκευση προ – επεξεργασμένων ξηρών δειγμάτων goji berry με το χρόνο αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί υποβάθμισης της συνολικής εντύπωσης, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης:

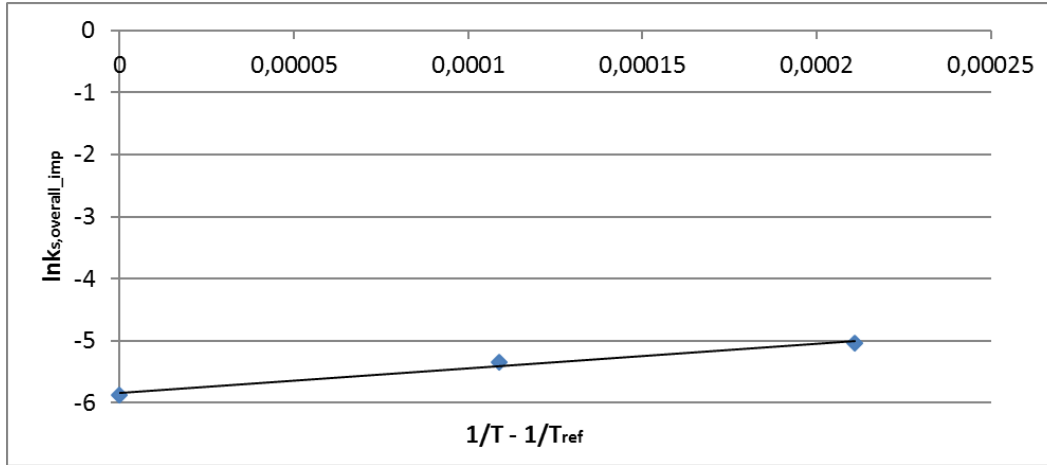
Πίνακας 5.13: Σταθερές ρυθμού υποβάθμισης της γεύσης, $k_{s,overall_imp}$, και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	$k_{s,overall_imp}$ (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0059	0,9351
	35	0,0126	0,7688
	45	0,0214	0,7435
OD – TREATED	25	0,0028	0,9854
	35	0,0048	0,9829
	45	0,0065	0,9061

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.28: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης σε δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.29: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης σε προ – επεξεργασμένα δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης καθώς ο ρυθμός μεταβολής της, k_{ref} , στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.14: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25$ °C

ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d ⁻¹)	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0061	50,84 ± 4,26	0,9930
OD – TREATED	0,0029	33,27 ± 4,74	0,9801

Η συνολική εντύπωση παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με τα άλλα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Ο ρυθμός αλλοίωσης του τροφίμου, σύμφωνα με αυτό το χαρακτηριστικό είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση των ανεπεξεργαστων προϊόντων. Η επίδραση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των τελικών προϊόντων είναι εντονότερη για τα ανεπεξεργαστα προϊόντα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης, η οποία είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τα προ – επεξεργασμένα δείγματα με ωσμωτική αφυδάτωση.

5.1.3.2 Μεταβολή του Συνολικού Χρώματος κατά την Αποθήκευση

Οι χρωματικές μεταβολές για κάθε δείγμα, ανεπεξέργαστα και επεξεργασμένα, και εκφράστηκαν από τη σχέση: $\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}}$, όπου ΔE_{max} η μέγιστη μεταβολή χρώματος που παρατηρήθηκε σε κάθε δείγμα και ΔE η μεταβολή χρώματος κάθε χρονική στιγμή.

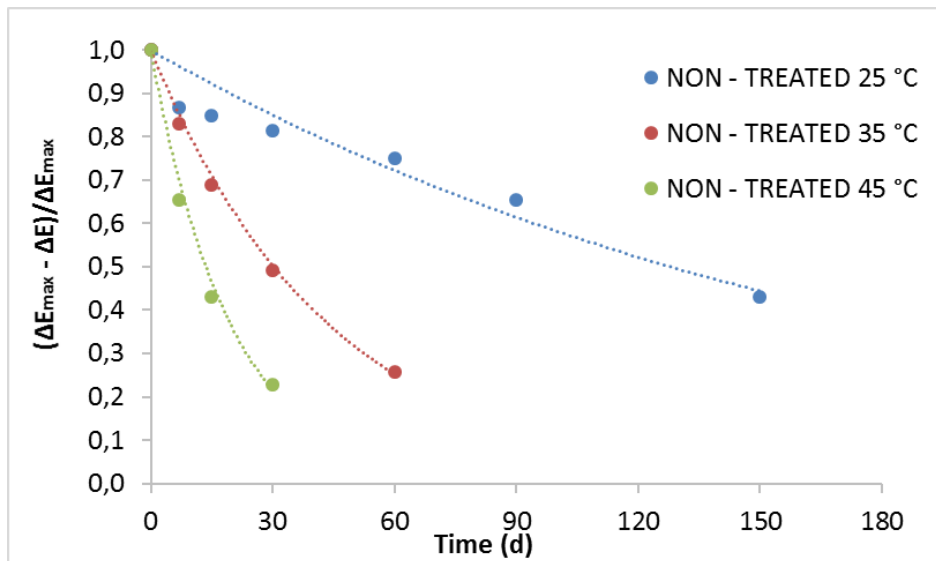
Σε όλες τις περιπτώσεις δειγμάτων, η κινητική υποβάθμισης του χρώματος είναι πρώτης τάξης με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα:

$$\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}} = \frac{\Delta E_{max} - \Delta E_0}{\Delta E_{max}} e^{-kt} \quad (\text{εξ. 5.3})$$

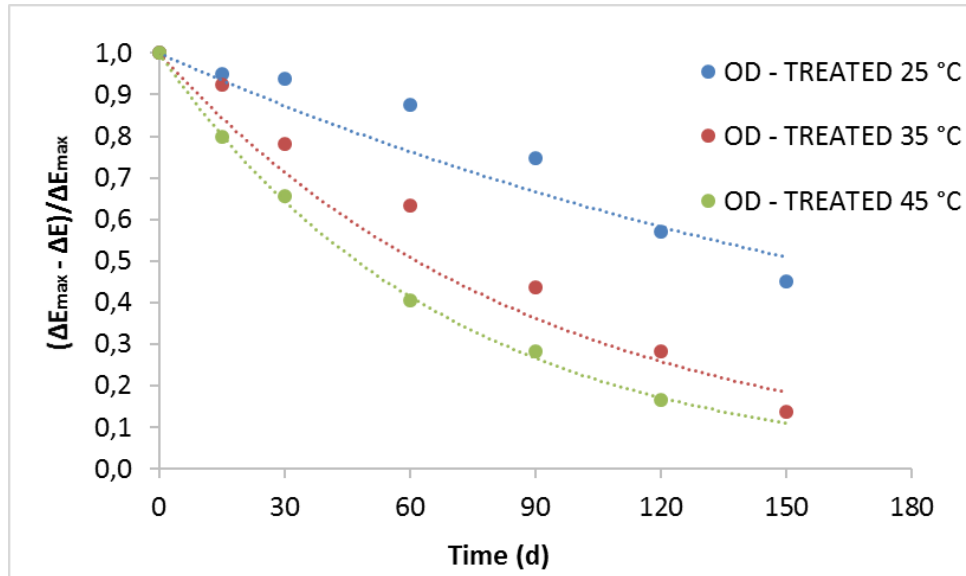
Τη χρονική στιγμή ισχύει ότι $\Delta E = 0$, και άρα η παραπάνω εξίσωση μετατρέπεται ως εξής:

$$\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}} = e^{-kt} \quad (\text{εξ. 5.4})$$

Στα σχήματα 5.30 και 5.31 παρουσιάζεται η υποβάθμιση του χρώματος των επεξεργασμένων και μη με ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης στις θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C:



Σχήμα 5.30: Υποβάθμιση του συνολικού χρώματος των ανεπεξέργαστων δειγμάτων goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C



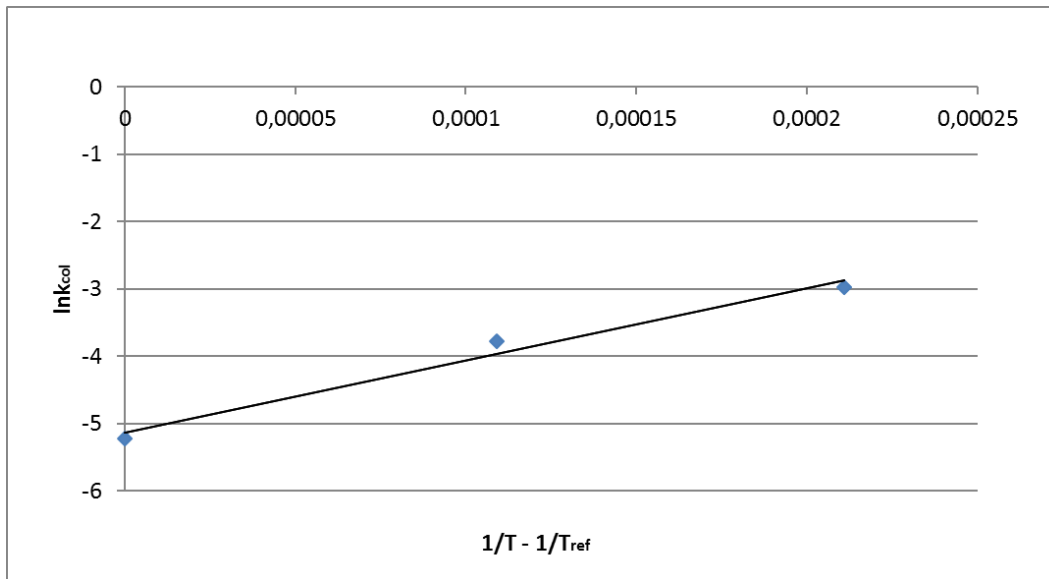
Σχήμα 5.31: Υποβάθμιση του συνολικού χρώματος προ – επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί υποβάθμισης του συνολικού χρώματος, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης, 25, 35 και 45 °C:

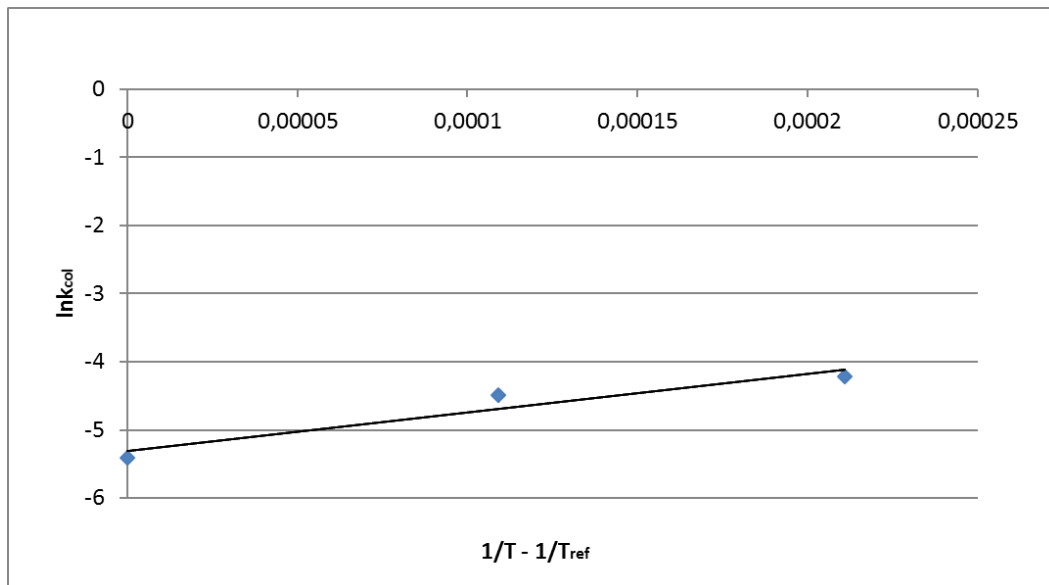
Πίνακας 5.15: Σταθερές ρυθμού αλλοίωσης του συνολικού χρώματος, k_{col} , και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξεργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	k_{col} (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0054	0,9422
	35	0,0229	0,9977
	45	0,0511	0,9887
OD – TREATED	25	0,0045	0,9023
	35	0,0113	0,9381
	45	0,0147	0,9977

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς υποβάθμισης του συνολικού χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.32: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς υποβάθμισης του συνολικού χρώματος σε ανεπεξεργαστα δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.33: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς υποβάθμισης του συνολικού χρώματος σε προ – επεξεργασμένα δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή του συνολικού χρώματος, καθώς ο ρυθμός μεταβολής της k_{ref} , στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.16: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή του χρώματος στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25$ °C

ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d ⁻¹)	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0056	91,77 ± 14,88	0,9792
OD – TREATED	0,0050	46,90 ± 14,08	0,9173

Ο ρυθμός υποβάθμισης του χρώματος αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης πολύ πιο έντονα στα ανεπεξέργαστα δείγματα goji berry, σε σχέση με τα προ – επεξεργασμένα. Με την ωσμωτική αφυδάτωση επετεύχθη μεγαλύτερη διατήρηση του χρώματος κατά την αποθήκευση των προϊόντων.

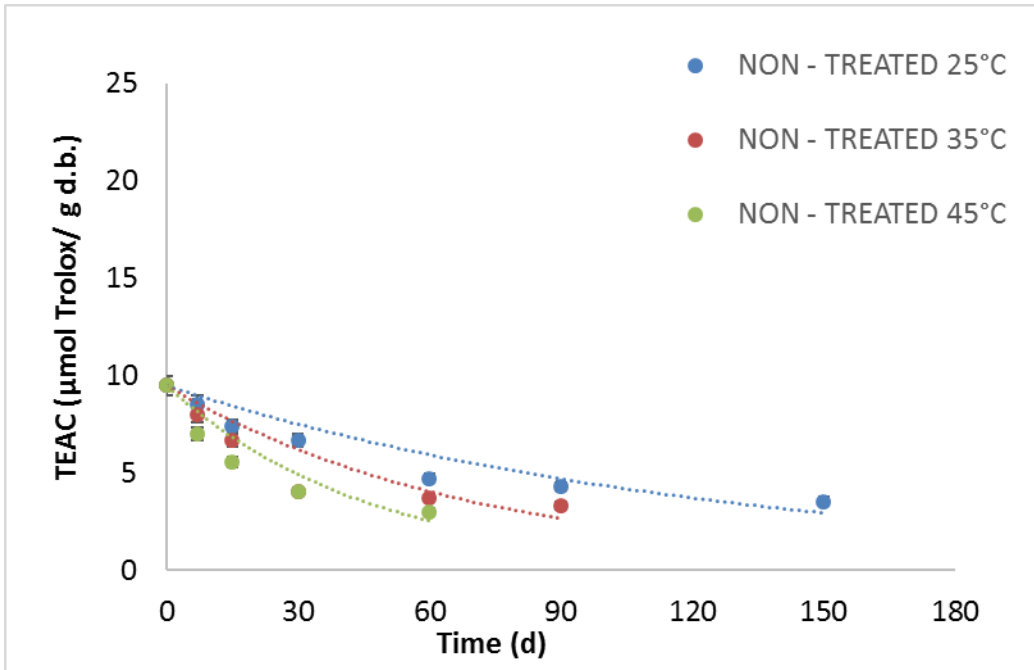
5.1.3.3 Μεταβολή του Αντιοξειδωτικής Ικανότητας κατά την Αποθήκευση

Η μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων σχετίζεται με την οξείδωση των αντιοξειδωτικών ουσιών. Η απώλεια των αντιοξειδωτικών ουσιών ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης:

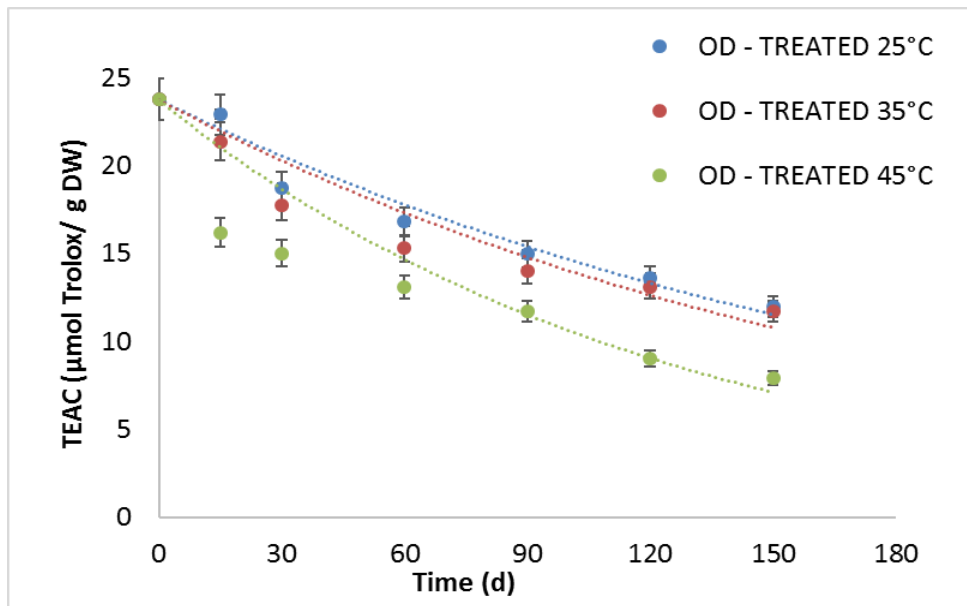
$$C = C_0 e^{-kt} \quad (\text{εξ. 5.5})$$

Όπου, C: η συγκέντρωση των αντιοξειδωτικών ουσιών εκφρασμένη σε μmol ισοδύναμου TROLOX ανά g ξηρού βάρους.

Στα σχήματα 5.34 και 5.35 παρουσιάζεται η μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των επεξεργασμένων και μη με ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C:



Σχήμα 5.34: Μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας ανεπεξεργαστων δειγμάτων goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C



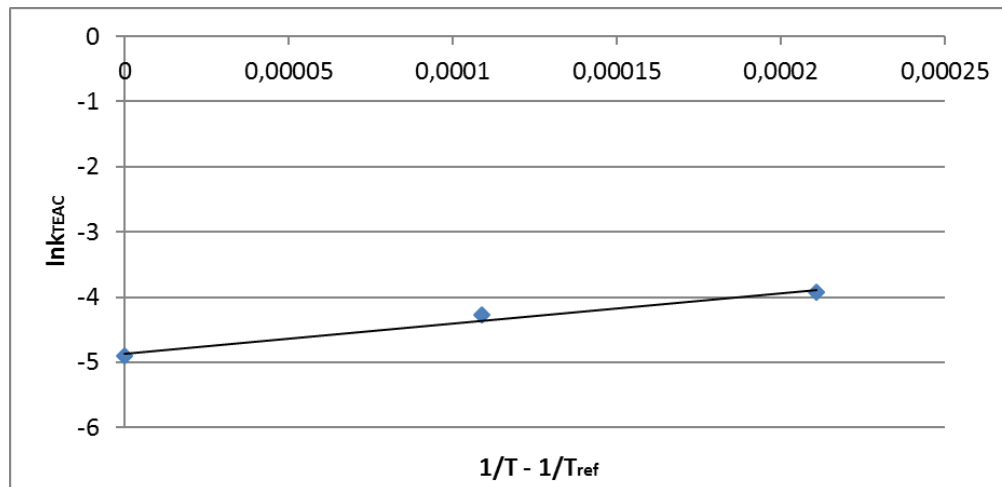
Σχήμα 5.35: Μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας προ – επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί μείωσης της αντιοξειδωτικής ικανότητας, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης:

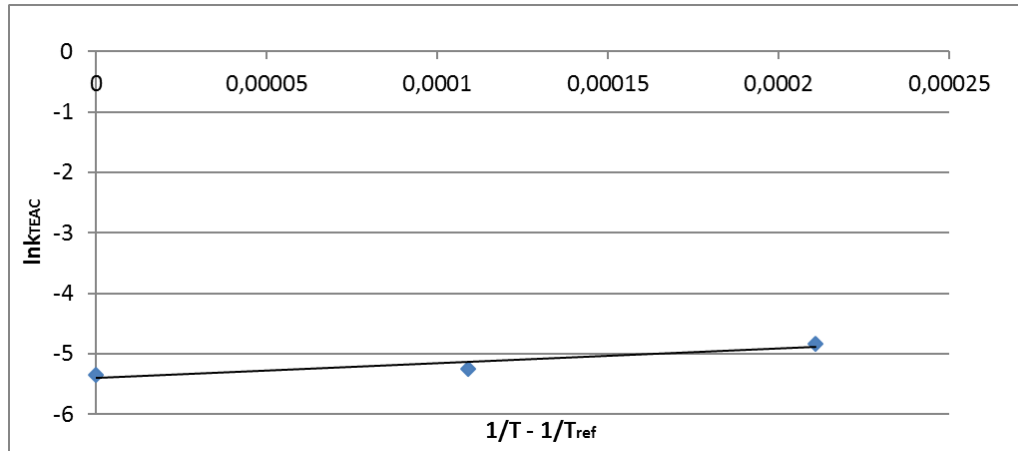
Πίνακας 5.17: Σταθερές ρυθμού μείωσης της αντιοξειδωτικής ικανότητας, k_{TEAC} , και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	k_{TEAC} (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0078	0,8761
	35	0,0140	0,7233
	45	0,0196	0,8360
OD – TREATED	25	0,0048	0,9431
	35	0,0053	0,8858
	45	0,0080	0,8279

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της αντιοξειδωτικής ικανότητας για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.36: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της αντιοξειδωτικής ικανότητας σε δείγματα ανεπεξέργαστων ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.37: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της αντιοξειδωτικής ικανότητας σε προ – επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας, καθώς ο ρυθμός μεταβολής της k_{ref} , στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

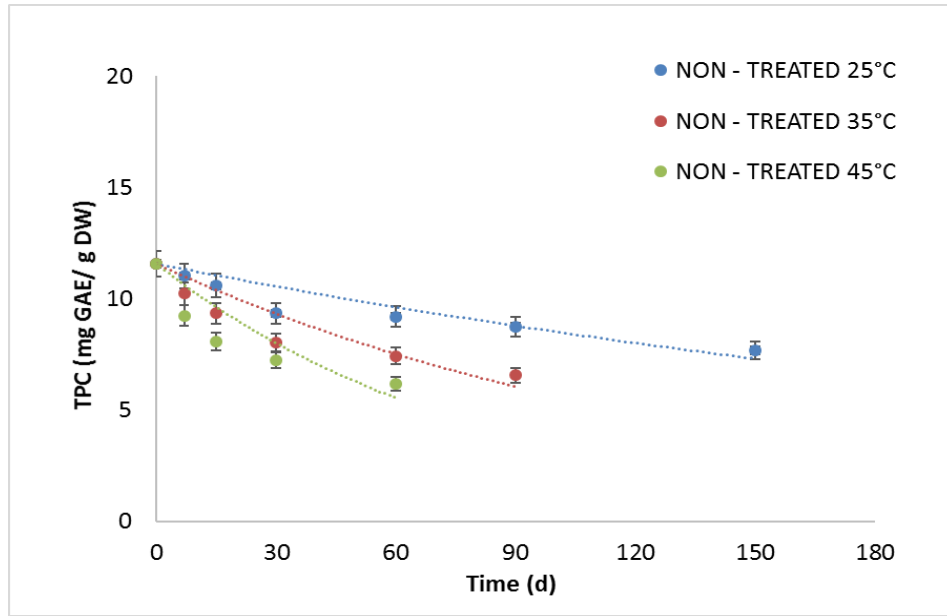
Πίνακας 5.18: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25$ °C

ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d^{-1})	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0077	$38,49 \pm 1,70$	0,9753
OD – TREATED	0,0046	$19,98 \pm 2,74$	0,8770

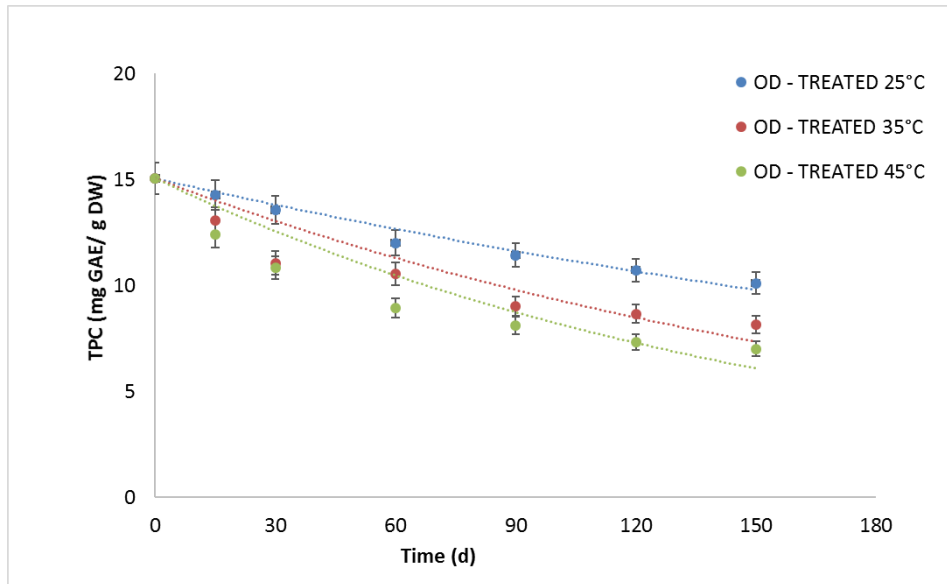
Ο ρυθμός μείωσης της αντιοξειδωτικής ικανότητας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης πολύ πιο έντονα στα ανεπεξεργαστα δείγματα goji berry, σε σχέση με τα προ – επεξεργασμένα. Με την ωσμωτική αφυδάτωση επιτεύχθη μεγαλύτερη διατήρηση των βιοδραστικών συστατικών κατά την αποθήκευση των προϊόντων.

5.1.3.4 Μεταβολή του Συνολικού Φαινολικού Περιεχομένου κατά την Αποθήκευση

Η μείωση της συγκέντρωσης των φαινόλων ακολούθησε ομοίως κινητική πρώτης τάξης (εξ. 5.5). Ο ρυθμός απώλειας των φαινόλων κατά την αποθήκευση των επεξεργασμένων και μη προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C, παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.38: Μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες ανεπεξεργαστων δειγμάτων goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C



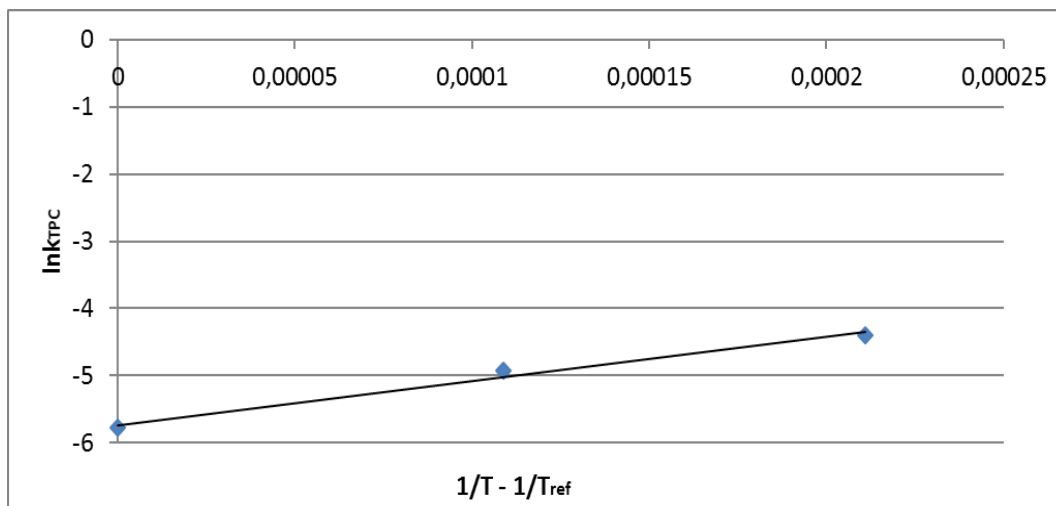
Σχήμα 5.39: Μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες σε ωσμωτικά προ – επεξεργασμένα δείγματα goji berry κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία 25, 35 και 45 °C

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ρυθμοί μείωσης της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες, για κάθε δείγμα στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης:

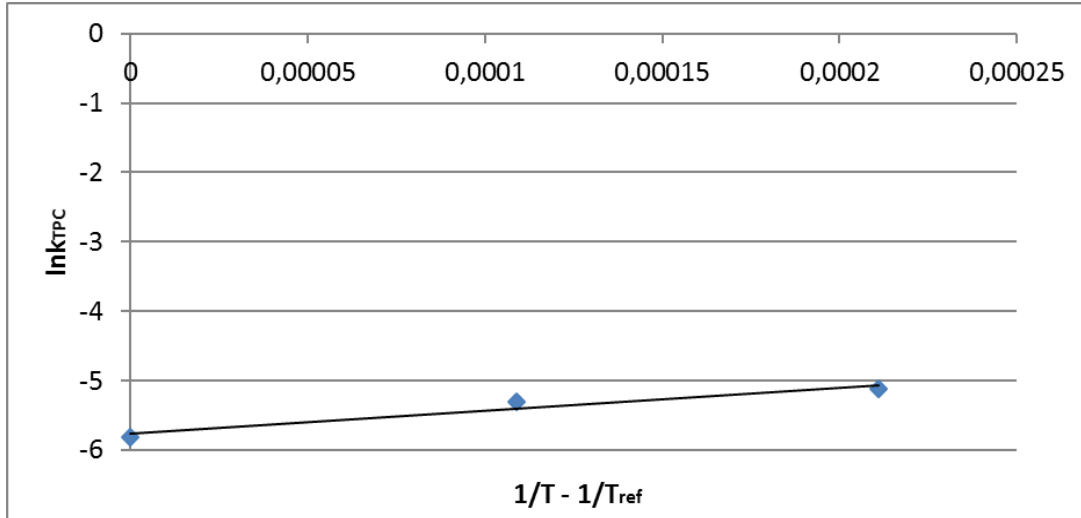
Πίνακας 5.19: Σταθερές ρυθμού μείωσης της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες, k_{TPC} , και συντελεστές συσχέτισης (R^2) για αποθηκευμένα δείγματα goji berry επεξεργασμένα και ανεπεξεργαστα σε σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45°C

ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)	k_{TPC} (d ⁻¹)	R ²
NON – TREATED	25	0,0031	0,8940
	35	0,0072	0,8013
	45	0,0123	0,8123
OD – TREATED	25	0,0030	0,9648
	35	0,0050	0,8194
	45	0,0060	0,8297

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της αντιοξειδωτικής ικανότητας για τις μελετώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 5.40: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες σε δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C



Σχήμα 5.41: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες σε προ – επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση δείγματα ξηρών προϊόντων goji berry σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_a με βάση την μεταβολή της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες, καθώς ο ρυθμός μεταβολής της k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 25\text{ °C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.20: Τιμές E_a , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες στα δείγματα goji berry για $T_{ref} = 25\text{ °C}$

ΔΕΙΓΜΑ	k_{ref} (d^{-1})	E_a (kJ/mol)	R^2
NON – TREATED	0,0032	$54,40 \pm 5,99$	0,9881
OD – TREATED	0,0032	$27,44 \pm 6,96$	0,9396

Ο ρυθμός μείωσης της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες είναι μικρότερος για τα ωσμω - αφυδατωμένα δείγματα στους 25 °C. Επιπλέον, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης περισσότερο στα ανεπεξέργαστα δείγματα goji berry, συγκριτικά με τα προ – επεξεργασμένα. Με την ωσμωτική αφυδάτωση επετεύχθη μεγαλύτερη διατήρηση των βιοδραστικών συστατικών κατά την αποθήκευση των προϊόντων.

5.1.3.5 Προσδιορισμός Διάρκειας Ζωής

Με βάση την κινητική μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε ορισμένους ποιοτικούς δείκτες, κεφάλαιο 5.1.3.1 – 5.1.3.4 είναι δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής των προϊόντων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.21: Διάρκεια ζωής (shelf life) επεξεργασμένων και μη προϊόντων goji berry με βάση τους ποιοτικούς δείκτες, σε θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	NON – TREATED	OD – TREATED
	(°C)	SHELF LIFE (d)	SHELF LIFE (d)
Οργανοληπτικό Χρώμα (Όριο Αποδοχής: 5/9)	25	117	226
	35	48	125
	45	24	97
Υφή (Όριο Αποδοχής: 5/9)	25	106	226
	35	51	139
	45	36	90
Γεύση (Όριο Αποδοχής: 5/9)	25	99	244
	35	47	139
	45	27	90
Συνολική Εντύπωση (Όριο Αποδοχής: 5/9)	25	99	206
	35	46	122
	45	27	90
Χρώμα (Όριο Αποδοχής: 0,3)	25	222	267
	35	52	106
	45	23	81
TEAC	25	93	144

(Όριο Αποδοχής: 50% Απώλεια)	35	49	130
	45	35	86
TPC	25	223	231
	35	96	138
(Όριο Αποδοχής: 50% Απώλεια)	45	56	115

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο δείκτης χρώμα στη θερμοκρασία των 45 °C προσδίδει την ελάχιστη διάρκεια ζωής, τόσο στα ανεπεξέργαστα, όσο και στα επεξεργασμένα τελικά ξηρά προϊόντα goji berry (23 και 81 ημέρες αντίστοιχα). Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί (κεφάλαιο 5.1.3.2) η οριακή τιμή αποδοχής για το χρώμα (0,3) υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέγιστη μεταβολή χρώματος του κάθε δείγματος, και άρα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθοριστικός δείκτης διατηρησιμότητας.

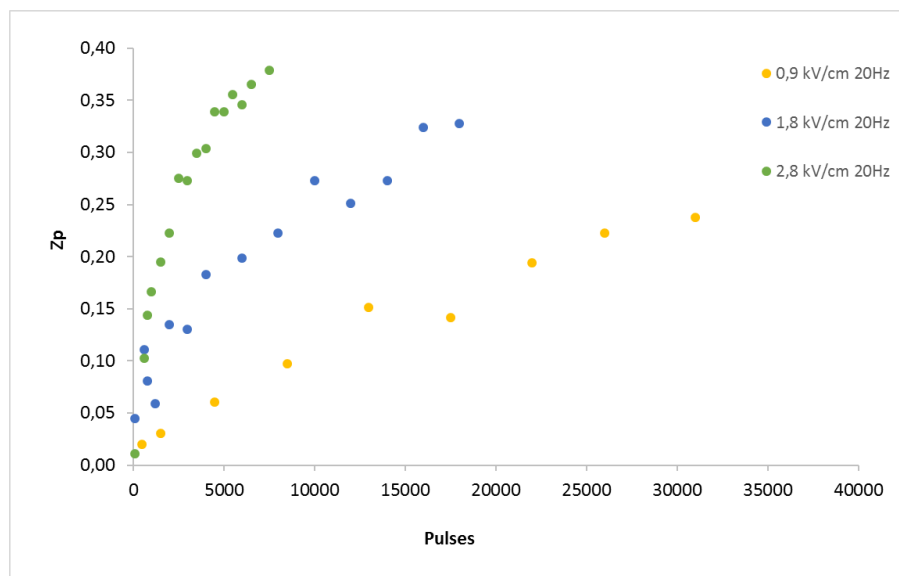
Για το λόγο αυτό, ως καθοριστικός παράγοντας διατηρησιμότητας και προσδιορισμού της διάρκειας ζωής επιλέχθηκε η συνολική εντύπωση, στην οποία συμπεριλαμβάνονται όλοι οι ποιοτικοί δείκτες που εξετάστηκαν κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο. Για τα ξηρά προϊόντα Goji, τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποια προ – επεξεργασία πριν την ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C, σύμφωνα με τον καθοριστικό παράγοντα η διάρκεια ζωής είναι οι 27 μέρες στους 45 °C, ενώ για τους 35 και 25 °C 46 και 99 ημέρες αντίστοιχα. Το όριο αποδοχής στο δείκτη συνολική εντύπωση ήταν η τιμή 5/9.

Για τα προϊόντα που έχουν προ – επεξεργαστεί με ωσμωτική αφυδάτωση, όπως φαίνεται καθοριστικό παράγοντα για τη διάρκεια ζωής αποτελεί και πάλι η συνολική εντύπωση. Σύμφωνα με το δείκτη η διάρκεια ζωής του τελικού προϊόντος είναι 90 ημέρες στους 45 °C, ενώ για τους 35 και 25 °C η διάρκεια ζωής προέκυψε 122 και 206 ημέρες αντίστοιχα. Το όριο αποδοχής ήταν και πάλι η τιμή 5/9.

5.2 Δεύτερη Θεματική Ενότητα: Εφαρμογή των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων ως Μέθοδο προ – Κατεργασίας της Ωσμωτικής Αφυδάτωσης και της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα για την Παραγωγή Ξηρών Προϊόντων Goji Berry

5.2.1 Δείκτης Ηλεκτροδιάτρησης της Κυτταρικής Μεμβράνης Z_p

Για την οριστικοποίηση των συνθηκών στα πειράματα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων πραγματοποιήθηκε πείραμα μελέτης της μεταβολής του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης του φρέσκου goji berry με εφαρμογή πεδίου έντασης 0,9, 1,8 και 2,8 kV/cm, ενώ οι παλμοί μεταβάλλονταν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.42):



Σχήμα 5.42: Μεταβολή του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης Z_p με μεταβολή των παλμών κατά την εφαρμογή πεδίου έντασης 0,9, 1,8 και 2,8 kV/cm

Σκοπός του πειράματος ήταν η εύρεση των κατάλληλων συνθηκών προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη διάρρηξη των κυττάρων, και να ενισχυθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και την ξήρανση των φρούτων.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η εφαρμογή μεγαλύτερου πεδίου έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη τιμή του δείκτη Z_p (0,38) με την εφαρμογή περισσότερων παλμών (7500). Αν και ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 – 1, όπου η μονάδα υποδηλώνει τη μέγιστη διάρρηξη κυττάρων, στην περίπτωση του δείγματος goji berry που χρησιμοποιήθηκε, η τιμή $Z_p = 1$ δεν επιτεύχθηκε. Αυτό οφείλεται στον ιδιαίτερο σκληρό φλοιό του. Πραγματοποιήθηκε μέτρηση της κυτταρικής διάρρηξης σε ποσότητα goji berry, από το ίδιο δείγμα, η οποία είχε καταψυχθεί και είχε αποψυχθεί (freeze – thawed). Αν και η κατάψυξη προκαλεί τη μέγιστη κυτταρική διάρρηξη ($Z_p = 1$), η τιμή του δείκτη προέκυψε ίση με $Z_p \approx 0,38$. Συνεπώς το 38 % των κυττάρων διαρυνύονται με την υποβολή τόσο της κατάψυξης όσο και των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (2,8 kV/cm –

7500 p). Επομένως, η τιμή αυτή που επετεύχθη με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία ήταν η μέγιστη δυνατή.

Στο πείραμα, όσον αφορά στη μέθοδο των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, εξετάσθηκε η επίδραση των παλμών στην διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης και της ξήρανσης. Το πεδίο που εφαρμόστηκε ήταν έντασης 2,8 kV/cm με αριθμό παλμών 750, 1500 και 7500.

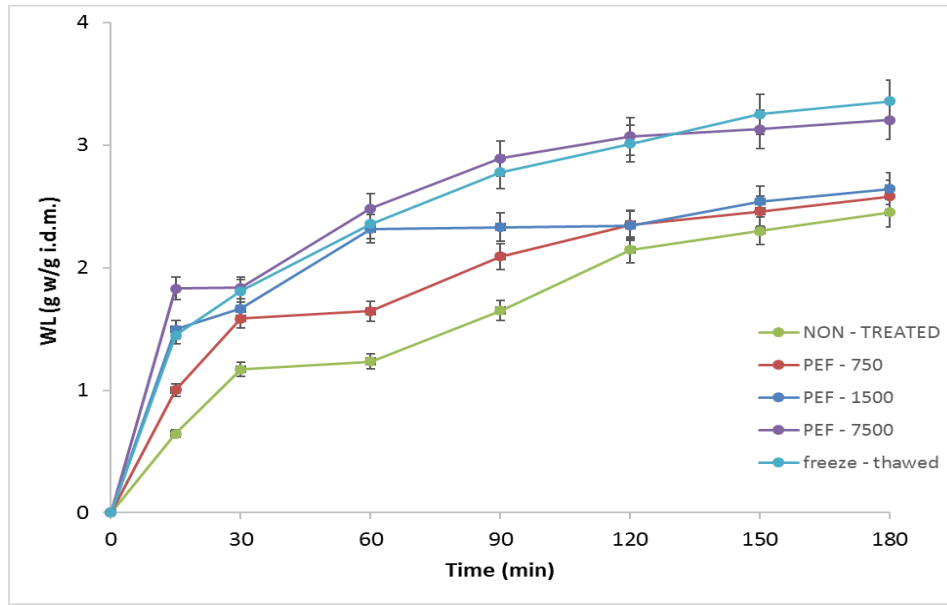
5.2.2 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ωσμωτική Αφυδάτωση

Στην δεύτερη θεματική ενότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η επίδραση της τεχνολογίας PEF στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μια θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος τους 55 °C. Η επιλογή της θερμοκρασίας έγινε με βάση τα πειράματα της πρώτης θεματικής ενότητας, όπου προέκυψε η βέλτιστη από τις τρεις θερμοκρασίες που εξετάσθηκαν (45, 55 και 65 °C) όσον αφορά στην επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας και στην προστασία των βιοδραστικών συστατικών, χωρίς να καταστρέφει το φρούτο.

5.2.2.1 Προσδιορισμός Απώλειας Νερού και Ολικών Στερεών

Απώλεια νερού (WL)

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.43) παρουσιάζεται η απώλεια νερού, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης του goji berry στους 55 °C σε δείγματα που έχουν υποστεί τη μέθοδο των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως προ – επεξεργασία. Το πεδίο που εφαρμόστηκε ήταν έντασης 2,8 kV/cm, έντασης 20 Hz, ενώ εξετάσθηκαν τρεις περιπτώσεις αριθμού παλμών 750, 1500 και 7500.



Σχήμα 5.43: Απώλεια νερού (WL) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δειγμάτων goji berry στα οποία έχει εφαρμοστεί παλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο έντασης 2,8 kV/cm, συχνότητας 20 Hz με παλμούς 750, 1500 και 7500

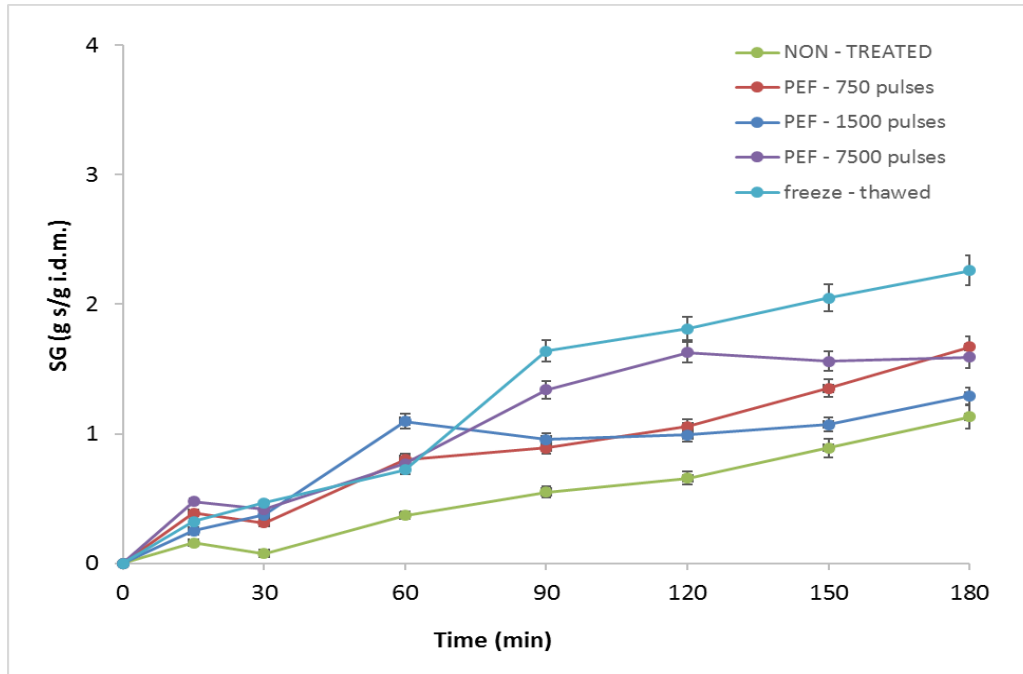
Από το σχήμα προκύπτει ότι το δείγμα που δέχτηκε 7500 παλμούς κατά την επεξεργασία με τη μέθοδο των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απώλεια νερού. Φαίνεται ότι η ποσότητα νερού που χάνει κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι περίπου ίση με την αντίστοιχη που παρουσιάζει το freeze – thawed δείγμα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα του πειράματος για τον προσδιορισμό του δείκτη διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης Z_p , σύμφωνα με το οποίο η τιμές των δύο δειγμάτων ήταν περίπου ίσες.

Τα άλλα δύο δείγματα εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά στην απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Σε κάθε περίπτωση όμως, παρατηρείται ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας, κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, συγκριτικά με το ανεπεξεργαστο δείγμα. Οι Amami et al. (2006) έδειξαν ότι, η επεξεργασία ιστού μήλου με παλμικά ηλεκτρικά πεδία ενίσχυσε τη μεταφορά μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η απώλεια νερού και η πρόσληψή στερεών αυξήθηκε με την αύξηση της έντασης του πεδίου και των παλμών μέχρι ένα βέλτιστο επίπεδο.

Η σταθεροποίηση της απώλειας νερού μετά το πέρας των 120 min, υποδηλώνει πως η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης τείνει προς το σημείο ισορροπίας.

Πρόσληψη στερεών (SG)

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.44) παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών ουσιών, όπως προέκυψε από την εξίσωση 4.5, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επεξεργασμένων και μη με την τεχνολογία PEF δειγμάτων goji berry:



Σχήμα 5.44: Πρόσληψη στερεών ουσιών (SG) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δειγμάτων goji berry στα οποία έχει εφαρμοστεί παλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο έντασης 2,8 kV/cm, συχνότητας 20 Hz με παλμούς 750, 1500 και 7500

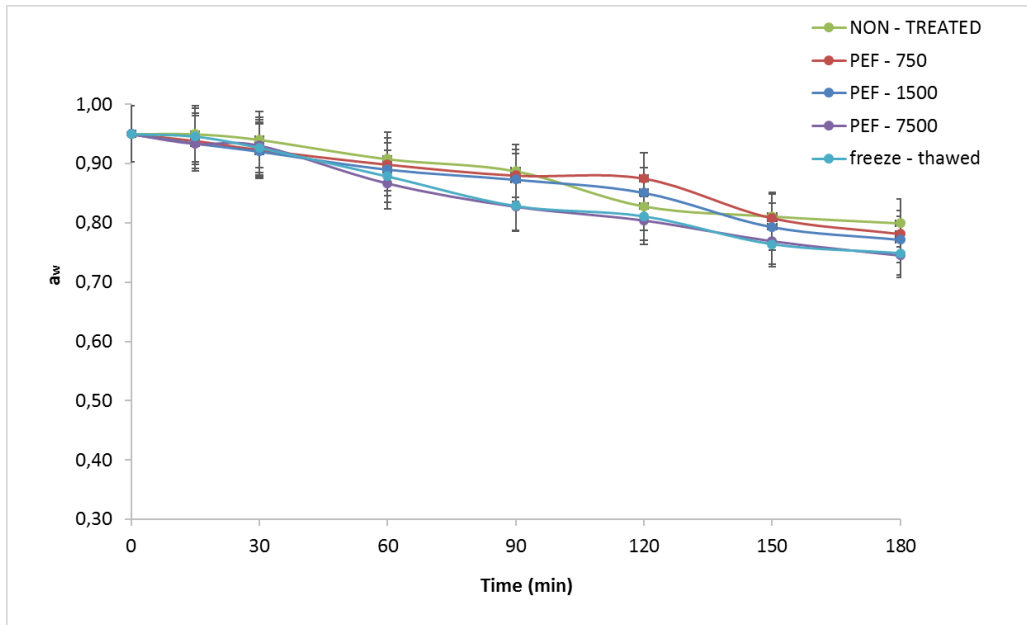
Όπως αναμενόταν, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι πιο έντονα στο δείγμα που έχει υποστεί κατάψυξη – απόψυξη (freeze – thaw). Τα λιγότερα στερεά προσλαμβάνονται από το ανεπεξέργαστο δείγμα, πράγμα που επιβεβαιώνει τη συμβολή της PEF τεχνολογίας στη διάρρηξη των κυττάρων και την επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Πολλοί συγγραφείς παρατήρησαν την αυξημένη πρόσληψη στερεών κατά τη διαδικασία της ώσμωσης σε επεξεργασμένα δείγματα με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Οι Dermensolouoglou et al. (2016), έδειξαν ότι δείγματα ακτινιδίου που είχαν υποστεί επεξεργασία PEF, προσέλαβαν περισσότερα στερεά από τα δείγματα control κατά την ωσμωτική αφυδάτωση.

Ωστόσο, όπως φαίνεται και από το σχήμα, το αποτέλεσμα που είχαν οι αυξημένοι παλμοί (7500) στη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν είναι πολύ διαφορετικό από αυτό των 750 και 1500 παλμών, με μοναδική εξαίρεση τη χρονική στιγμή 120 min, κατά την οποία διακρίνεται μια απότομη αύξηση.

Η συμβολή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην ωσμωτική αφυδάτωση είναι μεγαλύτερη όσον αφορά στην απώλεια της υγρασίας.

5.2.2.2 Ενεργότητα Νερού

Η αρχική ενεργότητα νερού των φρέσκων δειγμάτων goji berry ήταν κατά μέσο όρο ίση με $a_w = 0,9502 \pm 0,0078$. Παρακάτω (Σχήμα 5.46) παρουσιάζεται η μείωση της ενεργότητας νερού κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων με την τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων:



Σχήμα 5.46: Ενεργότητα νερού (a_w) των προ – επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία δειγμάτων goji berry κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε θερμοκρασία 55 °C

Η διαφορά που παρουσιάζεται στη μείωση της ενεργότητας νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ανάμεσα στα δείγματα που έχουν δεχθεί διαφορετικό αριθμό παλμών κατά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου ίδιας έντασης (2,8 kV/cm, 20 Hz) είναι σχετικά μικρή. Αρχικά, οι 750 και οι 1500 παλμοί προσδίδουν παρόμοιο χαρακτήρα στα goji berries, όσον αφορά στη μείωση της ενεργότητας νερού. Βέβαια, υπάρχει διαφορά αν και μικρή συγκριτικά με το ανεπεξέργαστο δείγμα.

Στην περίπτωση των 7500 παλμών αυτή η διαφορά είναι μεγαλύτερη. Η συμπεριφορά αυτού του δείγματος σχεδόν ταυτίζεται με την αντίστοιχη του freeze – thawed δείγματος.

5.2.2.3 Συντελεστής Διάχυσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης απώλειας νερού, (D_m), και πρόσληψης στερεών, (D_s), της ωσμωτικής αφυδάτωσης:

Πίνακας 5.22: Δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού (D_m) και στερεών (D_s) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση PEF – επεξεργασμένων δειγμάτων goji berry

ΔΕΙΓΜΑ	D_m (· 10 ⁻⁹ m ² /s)	D_s (· 10 ⁻⁹ m ² /s)
NON – TREATED	0,28	0,95
PEF – 750	1,81	1,81
PEF – 1500	1,96	2,08
PEF – 7500	2,09	2,34
Freeze – thawed	1,99	1,07

($R^2 > 0,8$, για όλες τις περιπτώσεις υπολογισμού των συντελεστών διάχυσης D_m και D_s)

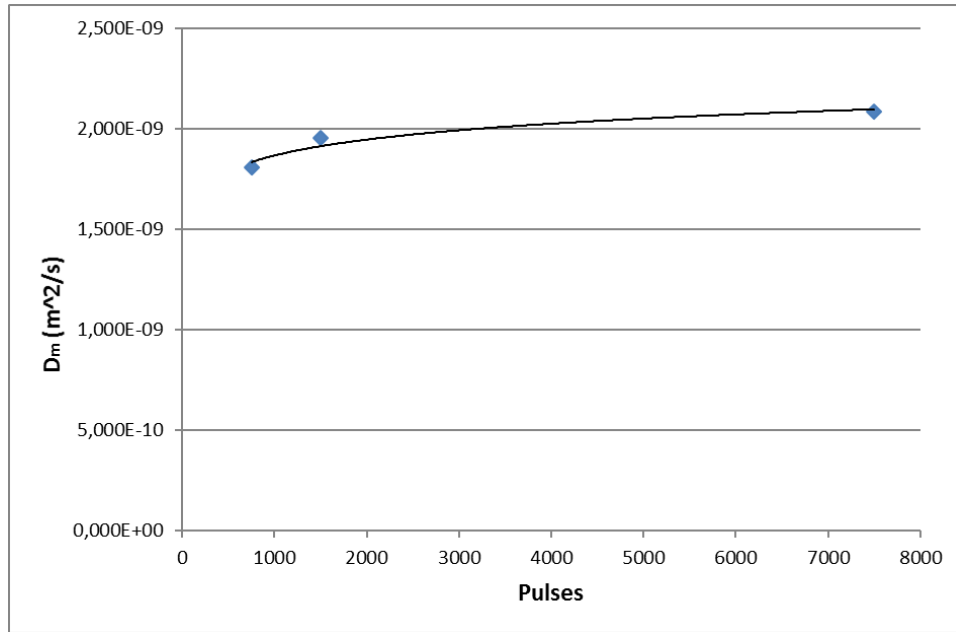
Από τις τιμές του πίνακα προκύπτει ότι η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων έντασης 2,8 kV/cm αύξησε το δραστικό συντελεστή διάχυσης νερού και στερεών. Συγκεκριμένα, με αύξηση των παλμών επετεύχθη η αύξηση των δραστικών συντελεστών διάχυσης.

Η εξίσωση που εκφράζει τη σχέση που συνδέει τον αριθμό των παλμών και τους δραστικούς συντελεστές διάχυσης D_m και D_s είναι της μορφής:

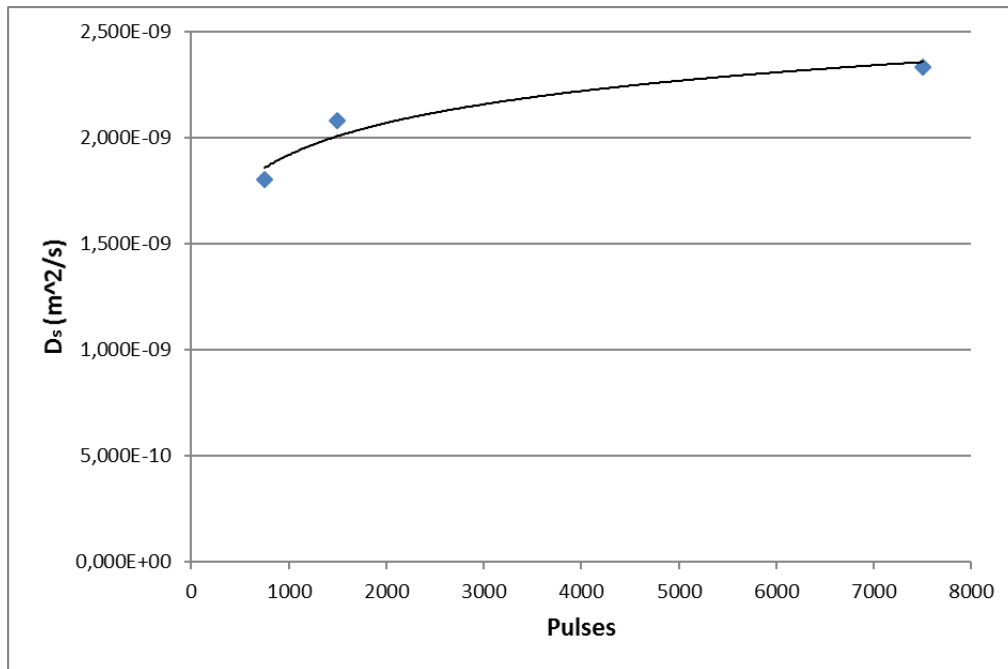
$$D_{m,s} = c_1 \ln p + c_2 \quad (\text{εξ. 5.6})$$

Όπου, p : ο αριθμός των παλμών, $D_{m,s}$: ο δραστικός συντελεστής διάχυσης νερού και στερεών και $c_{1,2}$: σταθερές της εξίσωσης.

Στα παρακάτω σχήματα, παρουσιάζεται η σχέση των δραστικών συντελεστών διάχυσης με τον αριθμό των παλμών:



Σχήμα 5.47: Επίδραση των παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο δραστικό συντελεστή διάχυσης νερού, D_m



Σχήμα 5.48: Επίδραση των παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο δραστικό συντελεστή διάχυσης στερεών, D_s

Πίνακας 5.23: Τιμές παραμέτρων της εξίσωσης 5.6 και συντελεστής συσχέτισης R²

Δραστικός Συντελεστής Διάχυσης (m ² /s)	c ₁	c ₂	R ²
D _m	1,14 · 10 ⁻¹⁰	1,08 · 10 ⁻⁹	0,9334
D _s	2,17 · 10 ⁻¹⁰	4,22 · 10 ⁻¹⁰	0,9383

5.2.2.4 Μεταβολή Χρώματος

Μετά το τέλος της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, παρατηρήθηκε μικρή μείωση στη φωτεινότητα των δειγμάτων. Η μείωση αυτή ήταν πιο έντονη με την αύξηση των παλμών. Οι παράμετροι του χρώματος L, a και b για τη χρονική στιγμή t = 0 της ωσμωτικής αφυδάτωσης, των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.24: Αρχικές τιμές παραμέτρων L,a,b του χρώματος των επεξεργασμένων δειγμάτων με τεχνολογία PEF σε πεδίο έντασης 2,8 kV/cm και συχνότητας 20 Hz (750, 1500 και 7500 p) πριν την έναρξη την ωσμωτικής αφυδάτωσης

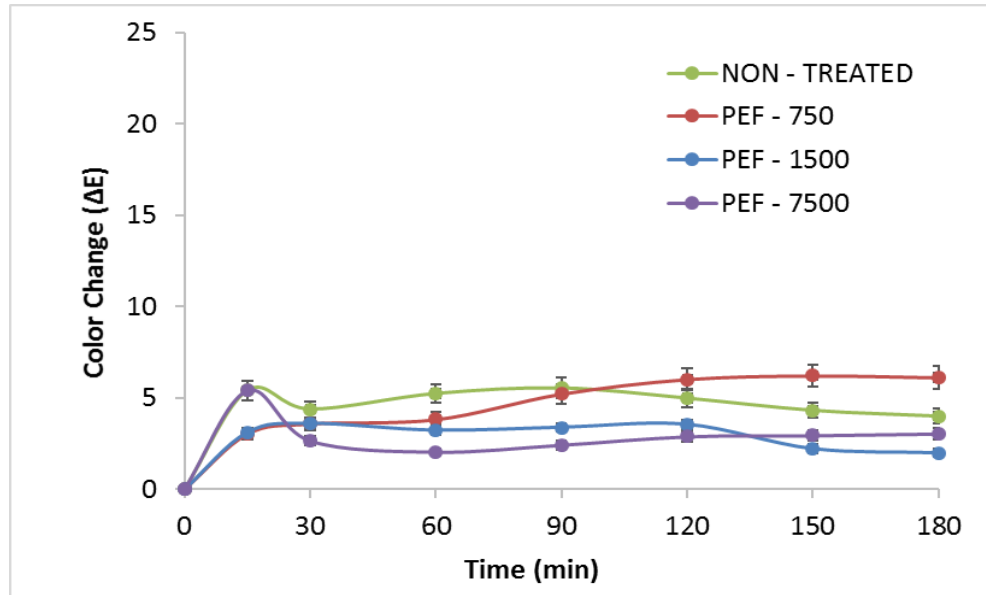
Δείγμα	L	a	B
NON – TREATED	43,34 ± 0,99a	37,67 ± 1,34a	36,13 ± 0,54a
PEF – 750 pulses	42,78 ± 0,26ab	34,85 ± 0,23b	32,94 ± 0,20b
PEF – 1500 pulses	42,60 ± 0,51b	34,40 ± 0,50b	32,66 ± 0,61b
PEF – 7500 pulses	41,31 ± 0,76c	32,77 ± 0,65c	30,20 ± 1,96c

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (p<0.05).

Από τις μετρήσεις επιβεβαιώνεται η ελάττωση στη φωτεινότητα των δειγμάτων goji berry που επεξεργάστηκαν με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (750, 1500 και 7500 p). Παράλληλα, παρατηρείται μείωση της ερυθρότητας και του κίτρινου χρώματος (>1500 p).

Η μείωση της φωτεινότητας των δειγμάτων, ειδικότερα αυτών που δέχθηκαν 7500 παλμούς, μετά την PEF επεξεργασία μπορεί να οφείλεται στην υψηλότερη απελευθέρωση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO) και των υποστρωμάτων της μετά την ηλεκτροδιάτρηση (Janositz et al., 2011). Οι παράμετροι χρώματος του τροφίμου εξαρτώνται έντονα από τις ιδιότητες του υλικού και τις συνθήκες επεξεργασίας.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.49) παρουσιάζεται η συνολική μεταβολή του χρώματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε θερμοκρασία 55 °C:



Σχήμα 5.49: Συνολική μεταβολή χρώματος των προ – επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία δειγμάτων goji berry κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε θερμοκρασία 55 °C

Όσον αφορά στη συνολική μεταβολή του χρώματος, δεν παρατηρείται ιδιαίτερη διαφορά ανάμεσα στα διαφορετικά δείγματα κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η μεταβολή αυτή σταθεροποιείται στα 90 min της διαδικασίας στα PEF – επεξεργασμένα δείγματα, ενώ στο ανεπεξέργαστο δείγμα σταθεροποιείται στα 150 min. Επομένως, η τεχνολογία PEF σε συνδυασμό με την ώσμωση προσδίδει σταθερότητα στο χρώμα του δείγματος.

Οι παράμετροι χρώματος των δειγμάτων στα 60 min και 180 min ώσμωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.25: Τιμές παραμέτρων L,a,b του χρώματος των επεξεργασμένων δειγμάτων με τεχνολογία PEF σε πεδίο έντασης 2,8 kV/cm και συχνότητας 20 Hz (750, 1500 και 7500 p) τις χρονικές στιγμές t = 60 και 180 min

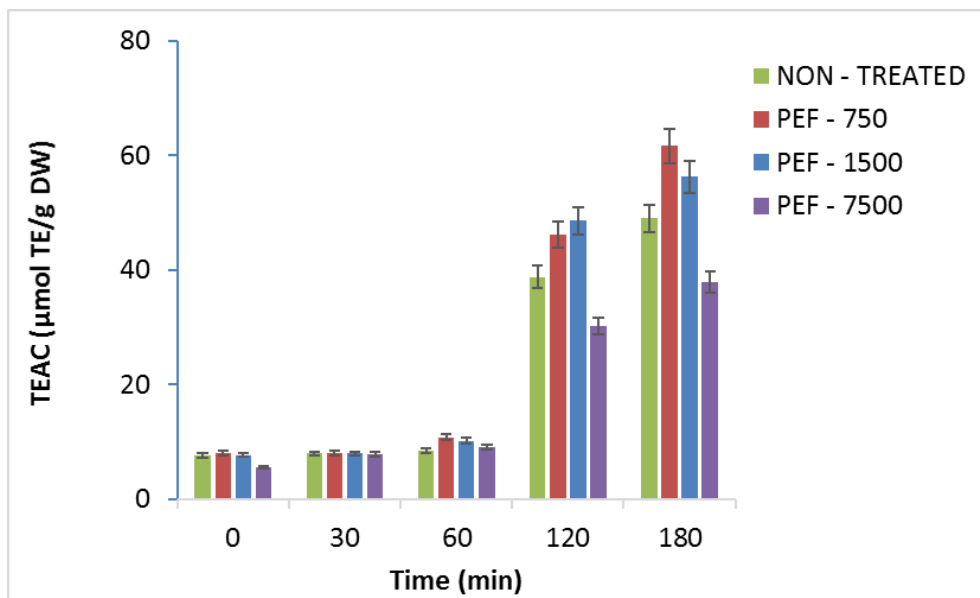
Δείγμα	t (min)	L	a	b
NON – TREATED	60	44,08 ± 0,37a	35,52 ± 0,52ab	37,54 ± 0,65ab
PEF – 750 pulses		39,43 ± 1,13b	33,40 ± 0,21a	32,91 ± 1,11bc
PEF – 1500 pulses		39,77 ± 0,15b	35,76 ± 0,47bc	33,07 ± 0,75bc
PEF – 7500 pulses		41,56 ± 0,64bc	34,00 ± 0,53a	30,88 ± 0,12c
NON – TREATED	180	43,06 ± 0,94bc	38,27 ± 1,16bc	39,66 ± 0,96a
PEF – 750 pulses		43,15 ± 0,60bc	39,38 ± 1,22c	34,59 ± 0,23bc
PEF – 1500 pulses		41,06 ± 0,75abc	35,82 ± 0,24ab	35,45 ± 0,45abc
PEF – 7500 pulses		40,98 ± 0,68ab	35,35 ± 0,33ab	34,57 ± 0,99bc

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

Τα πρώτα 60 min της αφυδάτωσης παρατηρείται μικρή μείωση στη φωτεινότητα, ενώ παράλληλα αυξάνεται το κόκκινο και κίτρινο χρώμα όλων των δειγμάτων. Αυτή η αλλαγή στις παραμέτρους του χρώματος L, a και b, παρατηρήθηκε και στα πειράματα της πρώτης θεματικής ενότητας (Κεφάλαιο 5.1.1.4). Ωστόσο, τα τελικά προϊόντα της ωσμωτικής αφυδάτωσης (180 min) εμφανίζουν αυξημένη τιμή φωτεινότητας, η οποία ή προσεγγίζει την αρχική τιμή. Αυτό οφείλεται στην προσθήκη του ασκορβικού οξέος στο ωσμωτικό διάλυμα και στην πρόσληψή του από τα φρούτα κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης. Στο ασκορβικό οξύ οφείλεται και η αύξηση της ερυθρότητας στα τελικά δείγματα, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.1.14.

5.2.2.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Η μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας των προ – επεξεργασμένων δειγμάτων goji berry με παλμικά ηλεκτρικά πεδία έντασης 2,8 kV/cm και συχνότητα 20 Hz (750, 1500 και 7500 p), κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη θερμοκρασία των 55 °C, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (οι χρόνοι που δίνονται είναι ενδεικτικοί: 0, 30, 60, 120 και 180 min):



Σχήμα 5.50: Μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας των προ – επεξεργασμένων με PEF goji berries κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 55 °C

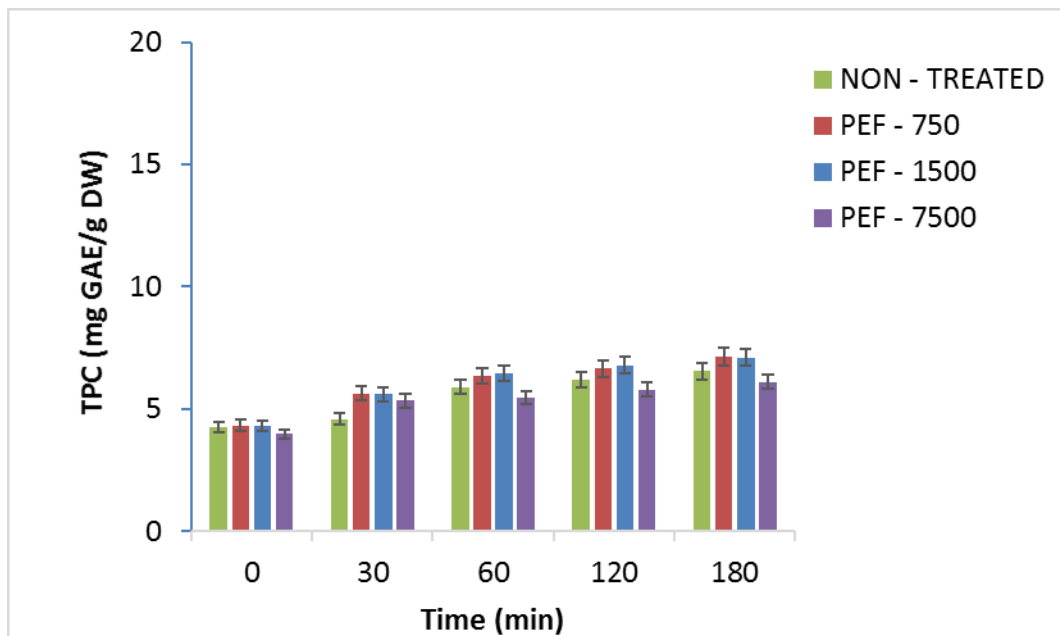
Όπως φαίνεται και από το σχήμα, η αντιοξειδωτική ικανότητα των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, με ένταση 2,8 kV/cm, συχνότητα 20 Hz, για τους 750 και 1500 παλμούς είναι ίδια με αυτήν του φρέσκου φρούτου $7,75 \pm 0,21$ μmol TE/g DW. Ωστόσο, το δείγμα που δέχθηκε την επίδραση των 7500 παλμών παρουσιάζει μείωση ως προς αυτήν την ιδιότητα. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας που

παρατηρήθηκε κατά την εφαρμογή των συγκεκριμένων συνθηκών (2,8 kV/cm – 7500 pulses), η οποία οδήγησε σε αυτή την απώλεια των αντιοξειδωτικών ($5,53 \pm 0,28 \mu\text{mol TE/g DW}$).

Μέχρι και τα 60 min η αύξηση των αντιοξειδωτικών ουσιών γίνεται με πολύ αργό ρυθμό και για τα τέσσερα διαφορετικά δείγματα. Ωστόσο, τους τελευταίους χρόνους της διεργασίας (120 – 180 min) παρατηρείται απότομη και μεγάλη αύξηση στα αντιοξειδωτικά και για τα τέσσερα διαφορετικά δείγματα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 5.1.1.5, η αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας με την ωσμωτική αφυδάτωση είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων και σχετίζεται κυρίως με τη συμπύκνωση του φρούτου, το περιεχόμενο της υγρασίας και την διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης. Στην παρουσία του πρόσθετου αντιοξειδωτικού, ασκορβικό οξύ, στο ωσμωτικό διάλυμα πιθανώς να οφείλεται στο μεγαλύτερο βαθμό αυτή η αύξηση, το οποίο απορροφήθηκε από τα φρούτα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση.

5.2.2.6 Συνολική Περιεκτικότητα σε Φαινόλες

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινόλων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των δειγμάτων στη θερμοκρασία των 55 °C παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (οι χρόνοι που δίνονται είναι ενδεικτικοί: 0, 30, 60, 120 και 180 min):



Σχήμα 5.51: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε φαινόλες των προ – επεξεργασμένων με PEF goji berries κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 55 °C

Η συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα δείγματα ως προς τη μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινόλων είναι ίδια με αυτήν της αντιοξειδωτικής ικανότητας.

Μετά την εφαρμογή του PEF φαίνεται ότι δεν επηρεάστηκαν οι φαινόλες, εκτός από το δείγμα που δέχθηκε τους 7500 παλμούς, όπου εμφανίζει λίγο μειωμένη η συγκέντρωση.

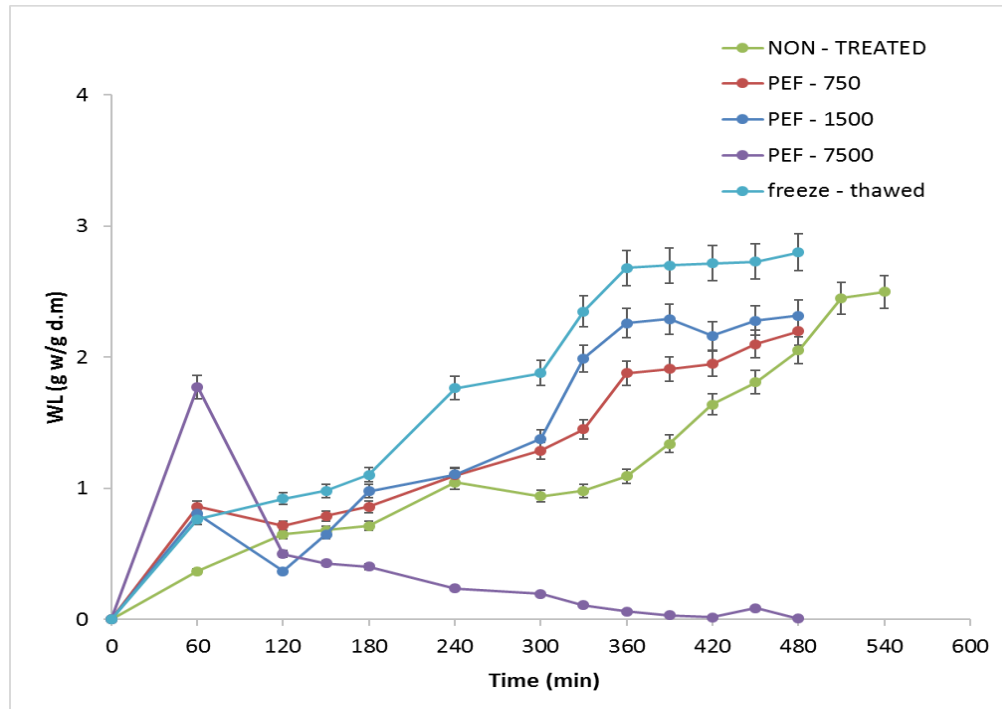
Κάθολη τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρείται αύξηση στις φαινόλες με αργό και σταθερό ρυθμό.

5.2.3 Κινητική Μελέτη Φαινομένων Μεταφοράς κατά την Ξήρανση με Θερμό Αέρα

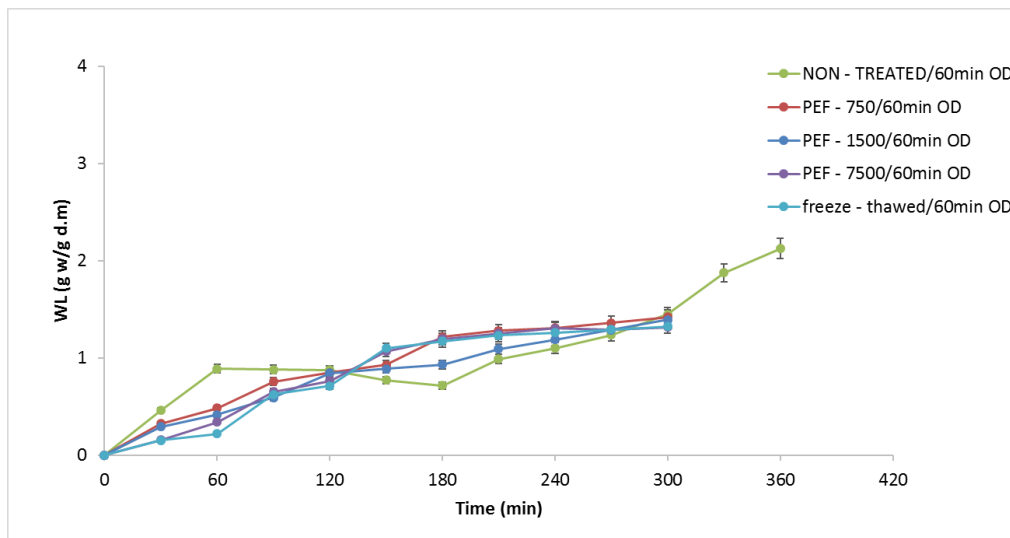
Στην δεύτερη θεματική ενότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη της επίδρασης των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ως η μόνη μέθοδος προ – επεξεργασίας αλλά και σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση, στη διεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα. Για το λόγο αυτό, έγινε ξήρανση στα δείγματα που εφαρμόστηκε πεδίο έντασης 2,8 kV/cm και δέχτηκαν 750, 1500 και 7500 παλμούς, καθώς και στα δείγματα τα οποία ωσμο – αφυδατώθηκαν μετά την εφαρμογή της τεχνολογίας PEF.

5.2.3.1 Απώλεια νερού

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η απώλεια της υγρασίας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C, σε PEF – επεξεργασμένα δείγματα goji berry, αλλά και σε PEF – επεξεργασμένα δείγματα τα οποία έχουν ωσμο – αφυδατωθεί για 60 min στους 55 °C. Η αρχική υγρασία των δειγμάτων προσδιορίστηκε στα $20,07 \pm 0,08$ g w/g d.m.



Σχήμα 5.52: Απώλεια νερού (WL) από τα προ – επεξεργασμένα με PEF goji berries κατά τη διάρκεια της ξήρασης με θερμό αέρα στους 60 °C



Σχήμα 5.53: Απώλεια νερού (WL) από τα προ – επεξεργασμένα με PEF και ωσμω – αφυδατωμένα στους 55 °C goji berries κατά τη διάρκεια της ξήρασης με θερμό αέρα στους 60 °C

Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω σχήματα, η συμβολή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη μείωση του χρόνου της συμβατικής ξήρασης με θερμό αέρα είναι σημαντική. Η διάρκεια της ξήρασης μειώθηκε κατά μια ώρα (κατά προσέγγιση). Τα δείγματα που έχουν δεχθεί 750 και 1500 παλμούς κατά την PEF – επεξεργασία παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά όσον αφορά

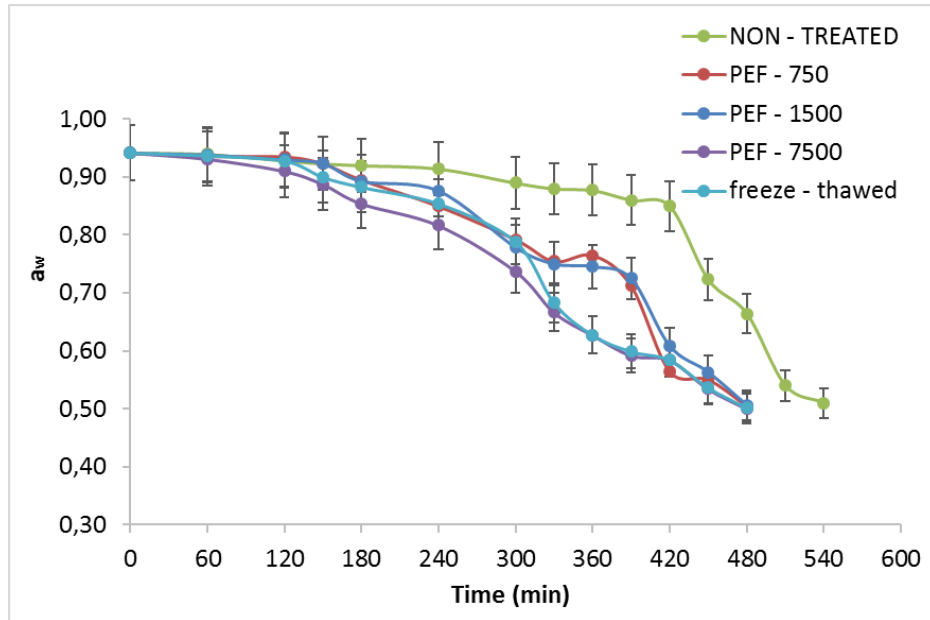
στον τρόπο απώλειας την υγρασίας. Ο ρυθμός αρχίζει να σταθεροποιείται στα 360 min της ξήρανσης, ενώ το ανεπεξέργαστο δείγμα παρουσιάζει σταθεροποίηση στην απώλεια υγρασίας περίπου στα 510 min. Αντίθετα, το δείγμα που δέχθηκε 7500 παλμούς παρουσιάζει μια τελείως διαφορετική συμπεριφορά, καθώς χάνει μεγάλο μέρος της υγρασίας στα 60 min της ξήρανσης, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί πτωτική πορεία. Η μεγάλη απώλεια νερού από το δείγμα από την αρχή της διαδικασίας μπορεί να συνδέεται με το φαινόμενο της ηλεκτροδιάτρησης και την απελευθέρωση του ενδοκυτταρικού περιεχομένου που βελτιώνει τη μεταφορά του νερού από το δείγμα προς το περιβάλλον και έτσι γίνεται πιο γρήγορα η εξάτμιση (Wiktor, et al., 2016). Παρόλα αυτά το δείγμα χρειάστηκε έξι ώρες μέχρι να πετύχει την επιθυμητή ενεργότητα νερού, όπως και τα υπόλοιπα επεξεργασμένα δείγματα. Βέβαια, η μέθοδος των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων δεν αντιμετώπισε το κέραιο στρώμα που παράγεται κατά την ξήρανση του goji berry, το οποίο δεν διευκολύνει τη διαδικασία και ίσως για το λόγο αυτό δε μειώθηκε περισσότερο ο χρόνος ξήρανσης με αυτήν τη μέθοδο επεξεργασίας.

Στο σχήμα , φαίνονται τα οφέλη του συνδυασμού των δύο μεθόδων προ – επεξεργασίας, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και την ωσμωτική αφυδάτωση, στην επίσπευση της διεργασίας της ξήρανσης. Οι ώρες ξήρανσης των PEF – επεξεργασμένων δειγμάτων μειώθηκαν κατά 37,5% με την εφαρμογή και της ώσμωσης στα ήδη επεξεργασμένα δείγματα. Σε ότι αφορά στο αρχικό ανεπεξέργαστο δείγμα, ο συνδυασμός των δύο μεθόδων μειώνει το χρόνο ξήρανσης κατά 44%, καθώς από τις 9 ώρες ξήρανσης χρειάζονται πλέον μόνο 5 για την παραγωγή ενός προϊόντος με ενεργότητα νερού περίπου 0,50.

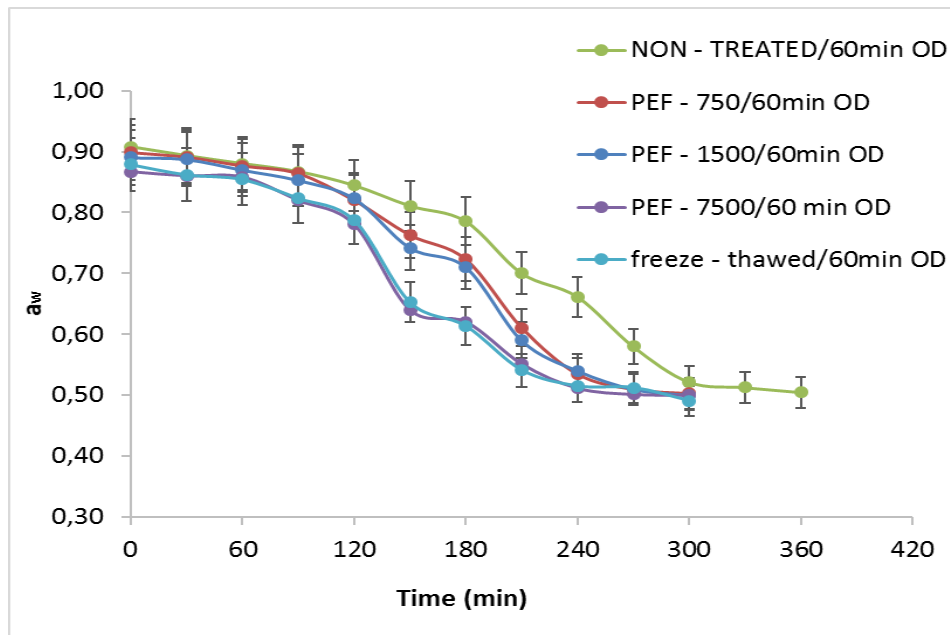
Σε ότι αφορά στον αριθμό των παλμών παρατηρείται ότι δεν προσδίδουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την απώλεια νερού στην περίπτωση που εξετάζουμε, και άρα εάν έπρεπε να γίνει επιλογή θα μπορούσαμε να επιλέξουμε τους 750 παλμούς με μικρότερο ενεργειακό κόστος.

5.2.3.2 Ενεργότητα νερού

Η μεταβολή της ενεργότητας νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα των δειγμάτων goji berry που έχουν επεξεργαστεί μόνο με τη μέθοδο των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, αλλά και των δειγμάτων που έχουν επεξεργαστεί και με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και με την ωσμωτική αφυδάτωση, δίνεται στα ακόλουθα σχήματα:



Σχήμα 5.54: Ενεργότητα νερού (a_w) των προ – επεξεργασμένων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C



Σχήμα 5.55: Ενεργότητα νερού (a_w) από τα προ – επεξεργασμένα με PEF και ωσμω – αφυδατωμένα στους 55 °C goji berries κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C

Από το σχήμα 5.54 φαίνεται γενικά ότι στα PEF – επεξεργασμένα δείγματα με την ίδια ένταση πεδίου, 2,8 kV/cm και διαφορετικούς παλμούς, η ενεργότητα νερού μειώνεται με παρόμοιο τρόπο ειδικά στα δείγματα που δέχθηκαν 750 και 1500 παλμούς. Τα δείγματα που δέχθηκαν 7500 παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα freeze – thawed. Επιπλέον, στο

ανεπεξέργαστο δείγμα η ενεργότητα νερού μειώνεται αργά και σταθερά μέχρι και τα 420 min, ενώ μετά ο ρυθμός μείωσης αυξάνεται μέχρι και τα 510 min, όπου πάλι σταθεροποιείται.

Τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια συμπεριφορά ως προς τις τιμές της ενεργότητας νερού κάθε χρονική στιγμή της ξήρανσης. Από τα σχήματα 5.54 και 5.55, προκύπτει ότι τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση είναι πολύ αποτελεσματικές μέθοδοι προ – επεξεργασίας καθώς ενισχύουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και επιταχύνουν τη διεργασία της ξήρανσης.

5.2.3.3 Σταθερά Ρυθμού Ξήρανσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι σταθερές του ρυθμού ξήρανσης, k_d , όλων των δειγμάτων για την ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C:

Πίνακας 5.26: Σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d , με θερμό αέρα στους 60 °C PEF – επεξεργασμένων δειγμάτων και μη goji berry

ΔΕΙΓΜΑ	k_d (h ⁻¹)
NON – TREATED	0,140a
PEF – 750	0,192b
PEF – 1500	0,224c
PEF – 7500	0,268c
freeze – thawed	0,254c
NON – TREATED/60 min OD	0,158a
PEF – 750/60 min OD	0,351d
PEF – 1500/60 min OD	0,441e
PEF – 7500/60 min OD	0,608f
freeze – thawed/60 min OD	0,381d

Οι τιμές στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα εκφράζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$).

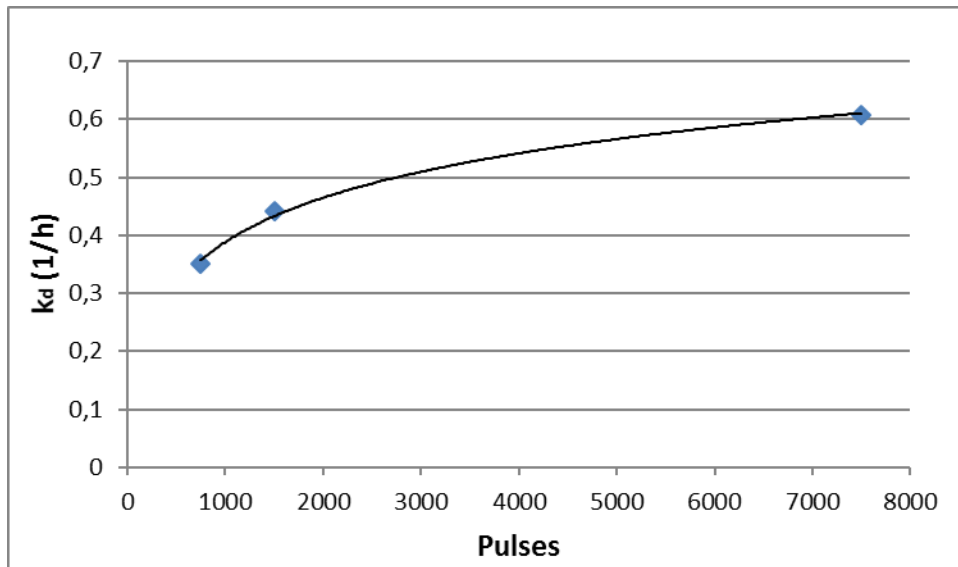
Από τις τιμές του πίνακα παρατηρείται ότι η αύξηση των παλμών επηρεάζουν τη σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d , των δειγμάτων goji berry ($p \geq 1500$). Τη μεγαλύτερη τιμή εμφανίζουν τα δείγματα που δέχθηκαν την επίδραση των 7500 παλμών ενώ τη μικρότερη το ανεπεξέργαστο δείγμα. Επιπλέον, όπως είναι φανερό ο συνδυασμός των μεθόδων των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων και της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενισχύουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διαδικασία της ξήρανσης.

Η επίδραση των παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη σταθερά του ρυθμού της ξήρανσης με θερμό αέρα περιγράφεται από μια σχέση της μορφής:

$$k_d = c_1 \ln p + c_2 \quad (\text{εξ. 5.7})$$

Όπου, p : ο αριθμός των παλμών, k_d : η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης και $c_{1,2}$: σταθερές της εξίσωσης.

Στα παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η σχέση της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης με τον αριθμό των παλμών:



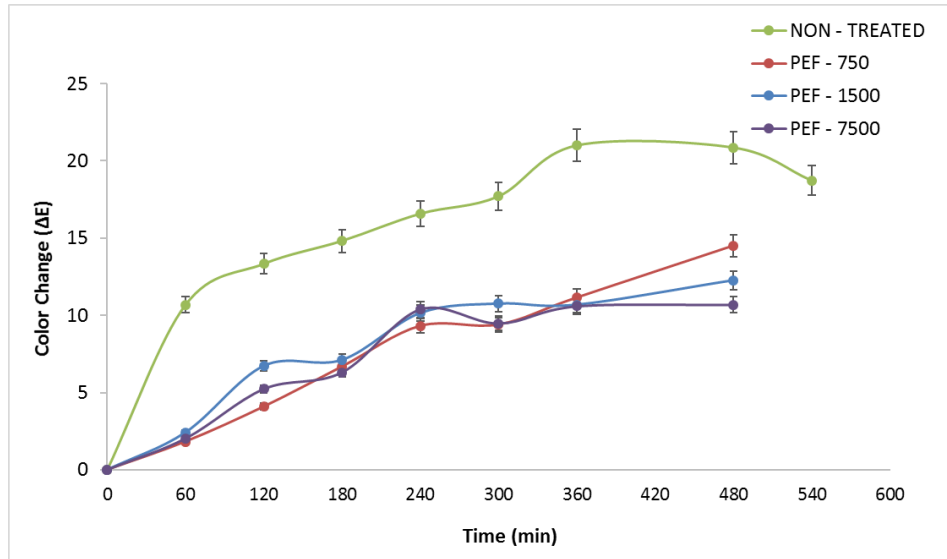
Σχήμα 5.56: Επίδραση των παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d

Πίνακας 5.27: Σταθερές της εξίσωσης 5.7 και συντελεστής συσχέτισης R^2

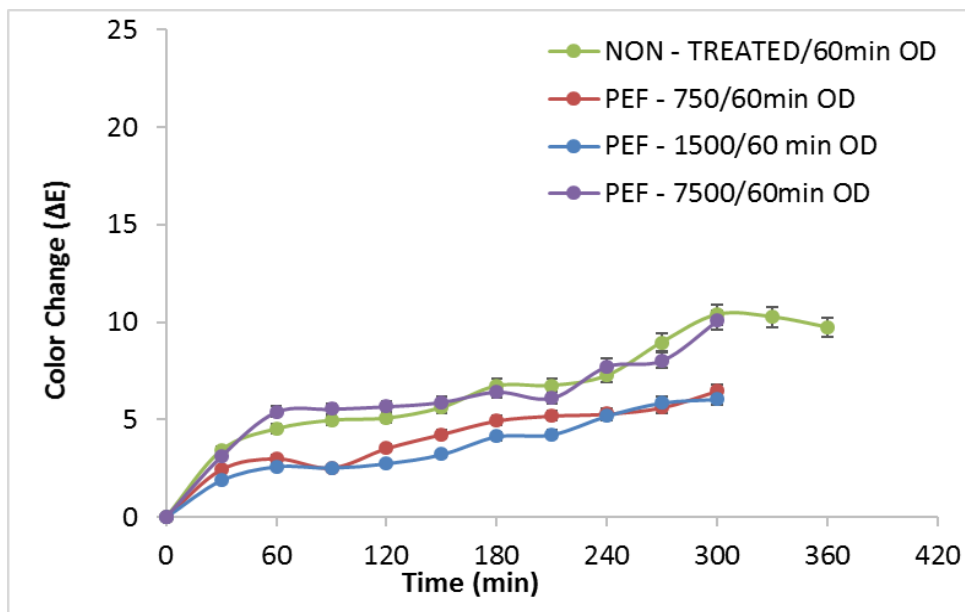
c_1	c_2	R^2
0,032	0,0159	0,9819

5.2.3.4 Μεταβολή Χρώματος

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού χρώματος PEF – επεξεργασμένων και ωσμο – αφυδατωμένων δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα:



Σχήμα 5.57: Μεταβολή συνολικού χρώματος προ – επεξεργασμένων με PEF δειγμάτων goji berries κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C



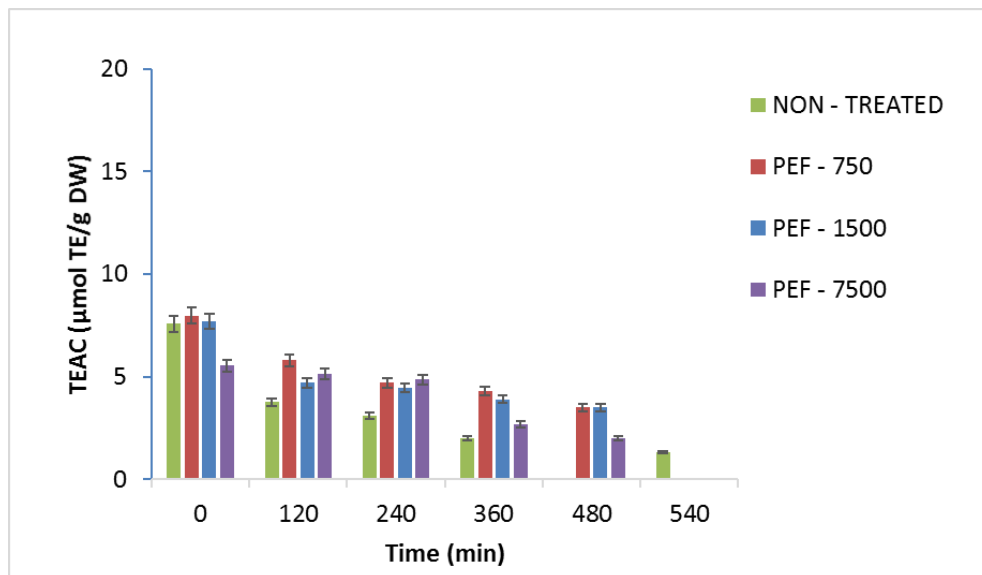
Σχήμα 5.57: Μεταβολή συνολικού χρώματος προ – επεξεργασμένων με PEF και ωσμω – αφυδατωμένων δειγμάτων goji berries κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C

Από το σχήμα 5.56 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη αλλαγή χρώματος παρουσίασε το ανεπεξεργαστο δείγμα. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, και παρουσιάζεται στον πίνακα 5.24, τα δείγματα που προ – επεξεργάστηκαν με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία παρουσίασαν μια μικρή αλλοίωση στο χρώμα πριν τη διαδικασία της ξήρανσης.

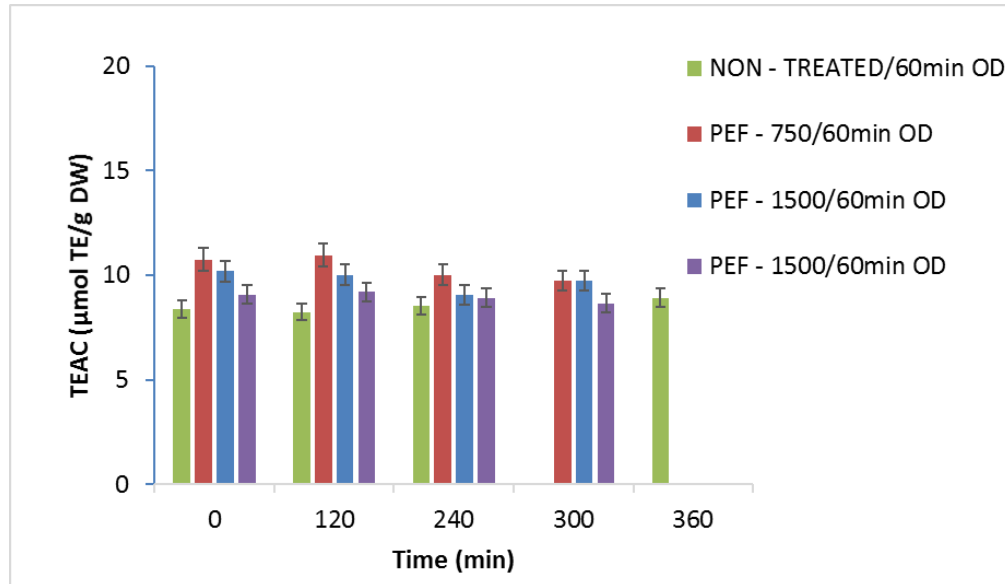
Σε ότι αφορά στα δείγματα που μετά τα παλμικά πεδία επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στη μεταξύ τους συμπεριφορά σχετικά με τη μεταβολή του χρώματος. Επιπλέον, η αλλαγή του χρώματος κατά την ξήρανση είναι μικρότερη συγκριτικά με τα δείγματα που δεν επεξεργάστηκαν με ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί η ώσμωση βοηθά στη διατήρηση και την προστασία του χρώματος.

5.2.3.5 Αντιοξειδωτική Ικανότητα

Στα σχήματα που ακολουθούν παρατίθεται η μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C όλων των επεξεργασμένων δειγμάτων goji berry καθώς και του ανεπεξεργαστου δείγματος:



Σχήμα 5.58: Αντιοξειδωτική ικανότητα των επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και μη δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C



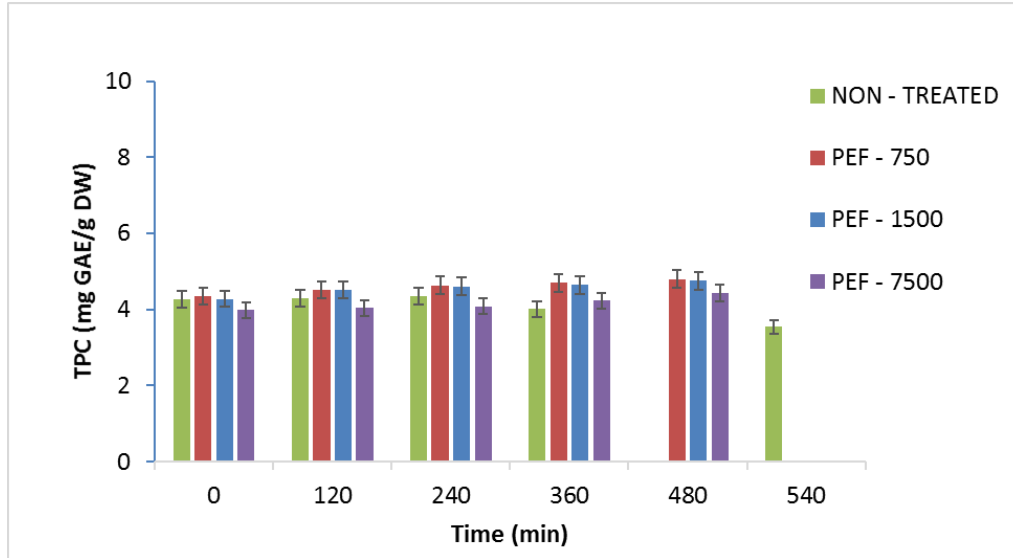
Σχήμα 5.59: Αντιοξειδωτική ικανότητα των επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα μειώνεται με πιο γρήγορο ρυθμό στο ανεπεξέργαστο δείγμα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Στο τέλος της ξήρανσης (9h) η αντιοξειδωτική ικανότητα υπολογίζεται κατά μέσο όρο ίση με 2 $\mu\text{mol TE/g DW}$. Η μείωση είναι της τάξης του 82,5%. Η μείωση αυτού του δείκτη ήταν μικρότερη για τα PEF – επεξεργασμένα δείγματα. Συγκεκριμένα, η μείωση κυμαίνεται στο 55% - 64% ($t = 480 \text{ min}$) και άρα με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία επετεύχθη μεγαλύτερη διατήρηση των αντιοξειδωτικών ουσιών κατά την ξήρανση με θερμό αέρα

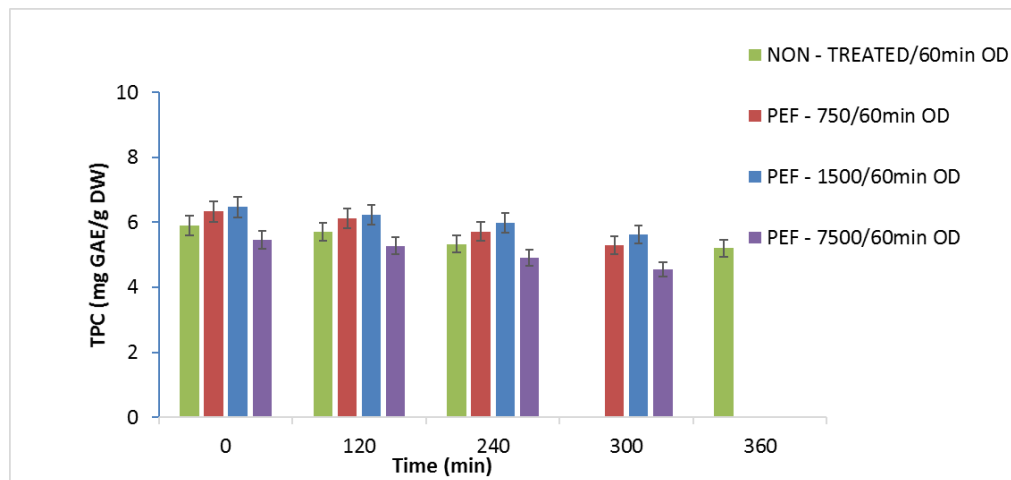
Για τα δείγματα που ωσμο – αφυδατώθηκαν μετά την εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων παρατηρείται μεγαλύτερη διατήρηση των αντιοξειδωτικών ουσιών συγκριτικά με τα δείγματα που επεξεργάστηκαν μόνο με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Στα δείγματα αυτά η μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας κυμαίνεται στο 4,6% - 9,38% ($t = 300 \text{ min}$).

5.2.3.6 Συνολική Περιεκτικότητα σε Φαινόλες

Στα σχήματα που ακολουθούν παρατίθεται η μεταβολή της συνολικής φαινολικής περιεκτικότητας κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C όλων των επεξεργασμένων δειγμάτων goji berry καθώς και του φρέσκου δείγματος:



Σχήμα 5.60: Συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες των επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και μη δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C



Σχήμα 5.61: Συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες των επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων goji berry κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με θερμό αέρα στους 60 °C

Όπως φαίνεται από τα δύο παραπάνω σχήματα, κατά την ξήρανση των PEF – επεξεργασμένων δειγμάτων παρατηρείται αύξηση των φαινολικών ενώσεων (Σχήμα 5.60) κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.

Η αύξηση των φαινολικών ενώσεων κατά την ξήρανση παρατηρήθηκε και στην πρώτη θεματική ενότητα και είναι αποτέλεσμα διάφορων χημικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα στον καρπό με την επιβολή θερμότητας. Επιπλέον, όσον αφορά στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, μέσω της ηλεκτροδιάτρησης και της διάρρηξης της μεμβράνης

πιθανώς να ενισχύθηκε η εκχύλιση φαινολικών ουσιών. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης είναι πιθανό να έλαβαν χώρα οι αντιδράσεις Maillard, λόγω των σακχάρων που υπάρχουν στο φρούτο, με αποτέλεσμα την παραγωγή νέων φαινολικών ενώσεων (Que et al., 2008, Sultana et al., 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συνοπτική Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

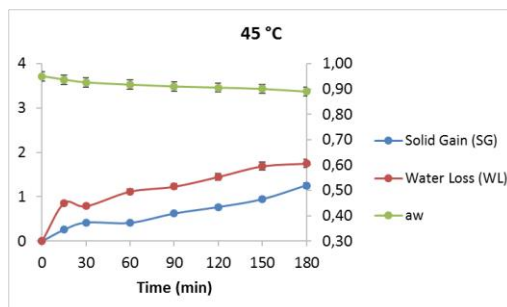
Σκοπό της παρούσας διπλωματικής αποτέλεσε η παραγωγή ξηρών προϊόντων goji berry με τη χρήση εναλλακτικών μη θερμικών μεθόδων προ – επεξεργασίας. Η αφυδάτωση των goji berries πραγματοποιείται με ξήρανση υπό αέρα ή υπό τον ήλιο και απαιτεί μεγάλο χρόνο ξήρανσης λόγω του φλοιού που δημιουργεί εμπόδιο στην απομάκρυνση του νερού. Ο μεγάλος χρόνος οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας των αφυδατωμένων δειγμάτων, όπως είναι η υποβάθμιση του χρώματος, της γεύσης, του flavor, καθώς και σε απώλεια των θρεπτικών συστατικών (αντιοξειδωτικές ουσίες, βιταμίνη C κ.α.). Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προ – κατεργασία της συμβατικής ξήρανσης, η τεχνολογία των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων αλλά και ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων.

Κατά την **πρώτη θεματική ενότητα**, πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση υπό ανάδευση σε κατεψυγμένα δείγματα goji berry στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C, με αναλογία διαλύματος – πρώτης ύλης 5:1, ενώ ο χρόνος προ – κατεργασίας κυμαινόταν από 15 – 180 min.

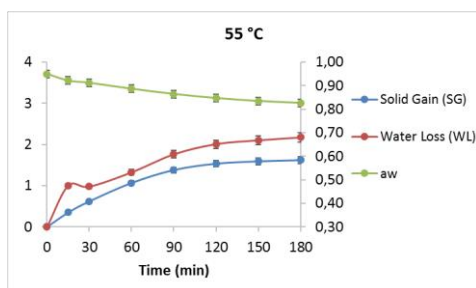
Ως βέλτιστες συνθήκες θεωρήθηκαν τα 60 min ωσμωτικής αφυδάτωσης στους 55 °C, καθώς με αυτόν τον τρόπο επετεύχθη η επιθυμητή απώλεια υγρασίας, χωρίς τον κίνδυνο αλλοίωσης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και την καταστροφή της πρώτης ύλης που θα μπορούσε να προκαλέσει η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και η υψηλότερη θερμοκρασία.

Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης προσδιορίστηκε η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών από τα goji berries, καθώς και έγινε μέτρηση της ενεργότητας νερού (a_w), και άλλων ποιοτικών δεικτών όπως είναι το χρώμα (κλίμακα CIElab, παράμετροι χρώματος: L, a, b) η αντιοξειδωτική ικανότητα (DPPH, $\mu\text{mol TE/g Dry Weight}$) και η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες (Folin – Ciocalteu, $\text{mg GAE/g Dry Weight}$).

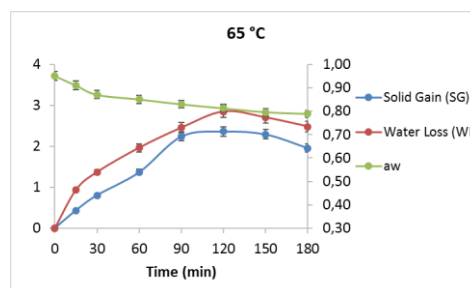
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η απώλεια της υγρασίας, η πρόληψη των στερεών και η μεταβολή της ενεργότητας νερού και στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C:



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 6.1: Απώλεια νερού (WL, g H₂O/g initial dry matter), πρόσληψη στερεών (SG, g solids/g initial dry matter) (Άξονας Y στα αριστερά) και ενεργότητα νερού (a_w, Άξονας Y στα δεξιά) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση goji berries σε θερμοκρασία (α) 45, (β) 55 και (γ) 65 °C

Η θερμοκρασία είναι πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος επιταχύνει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διαδικασία ($p > 0,05$). Ωστόσο, η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας ($T > 55$ °C) σε συνδυασμό με την μακρά διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης του φρούτου.

Η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών που πραγματοποιείται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εκφράστηκε μέσω των συντελεστών διάχυσης D_m και D_s που υπολογίστηκαν με βάση του 2^ο νόμο του Fick και τις κατάλληλες παραδοχές (για σφαίρα). Οι τιμές των δραστικών συντελεστών διάχυσης νερού, D_m , και στερεών, D_s , κυμάνθηκαν από $1,82 \cdot 10^{-10} - 9,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ και $5,17 \cdot 10^{-10} - 1,65 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, αντίστοιχα, με τις μεγαλύτερες τιμές να καταγράφονται στη μεγαλύτερη θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης (65 °C).

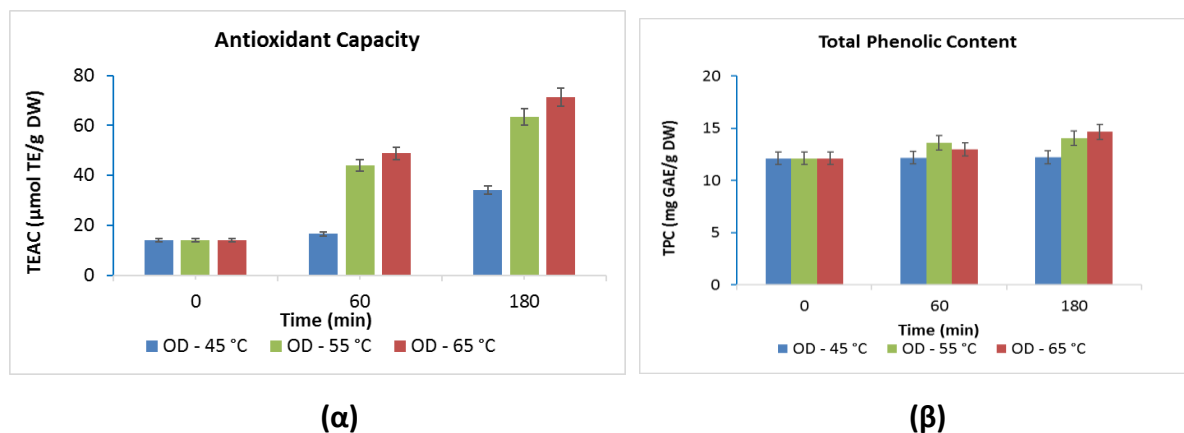
Η εξάρτηση των δραστικών συντελεστών διάχυσης D_m και D_s από τη θερμοκρασία περιγράφεται από μία σχέση τύπου Arrhenius, από την οποία προκύπτουν η ενέργεια ενεργοποίησης, E_a , και οι δραστικοί συντελεστές διάχυσης νερού και πρόσληψης στερεών στη θερμοκρασία αναφοράς (55 °C), D_{ref} :

Πίνακας 6.1: Σταθερές της εξίσωσης τύπου Arrhenius (E_a , D_{ref} , εξ. 5.1) και συντελεστής συσχέτισης (R^2)

Δραστικός Συντελεστής Διάχυσης (m^2/s)	E_a (kJ/mol)	D_{ref} ($\cdot 10^{-10} m^2/s$)	R^2
D_m	$67,50 \pm 16,69$	4,84	0,9424
D_s	$61,92 \pm 1,09$	10,14	0,9997

Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση προστατεύει το χρώμα και παρεμποδίζει τη μεταβολή του, ανεξάρτητα της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος. Η μεταβολή αυτή αναφέρεται στη μικρή μείωση της φωτεινότητας (παράμετρος L), ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται αύξηση του κόκκινου και κίτρινου χρώματος (παράμετροι a και b αντίστοιχα) λόγω της πρόσληψης των στερεών.

Καθόλη τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρήθηκε αύξηση στην αντιοξειδωτική ικανότητα και στη συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες. Αυτή η αύξηση μπορεί να οφείλεται κατά κύριο λόγο στην προσθήκη ασκορβικού οξέος στο ωσμωτικό διάλυμα, αλλά και στη συμπύκνωση που πραγματοποιείται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, την εκχύλιση αντιοξειδωτικών και φαινολικών ουσιών κατά τη διαδικασία (Σχήμα 6.2).



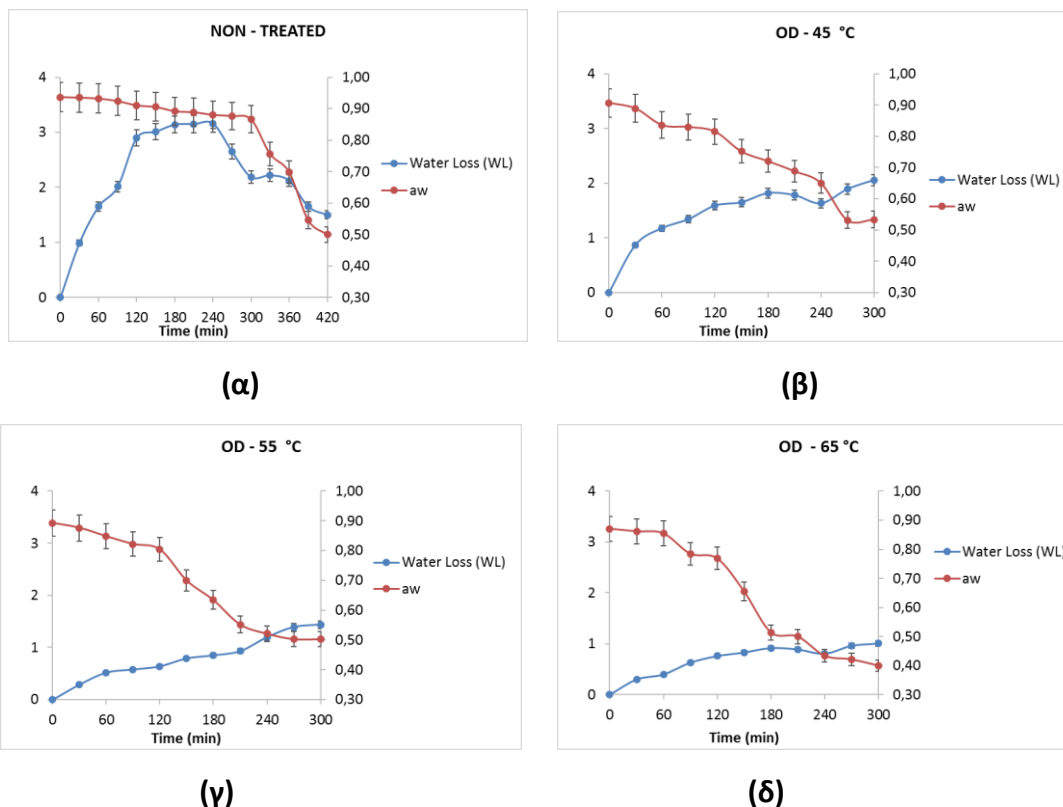
Σχήμα 6.2: (α) Αντιοξειδωτική ικανότητα και (β) συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες των δειγμάτων goji berry κατά την ωσμωτική αφυδάτωση στις θερμοκρασίες 45, 55 και 65 °C ((TEAC₀ = 13,98 ± 2,21 $\mu\text{mol TE/g DW}$, TPC₀ = 12,12 ± 0,23 mg GAE/g DW).

Την ωσμωτική αφυδάτωση ακολούθησε η ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C, με σκοπό την παραγωγή τελικού ξηρού προϊόντος με επιθυμητή ενεργότητα $a_w = 0,50$, καθώς σε τιμές $a_w < 0,60$ το αφυδατωμένο προϊόν είναι μικροβιακά σταθερό.

Κατά τη διεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας από τα δείγματα και υπολογισμός της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης σύμφωνα με τη σχέση: $\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{-k_d t}$ (κεφ. 4.7.2, εξ. 4.9). Παράλληλα, μετρήθηκε η

ενεργότητα νερού καθώς και προσδιορίστηκε το χρώμα, η αντιοξειδωτική ικανότητα και η συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες.

Η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος, στο οποίο εμβαπτίστηκαν στα δείγματα είχε επίδραση και στην ξήρανση με θερμό αέρα.



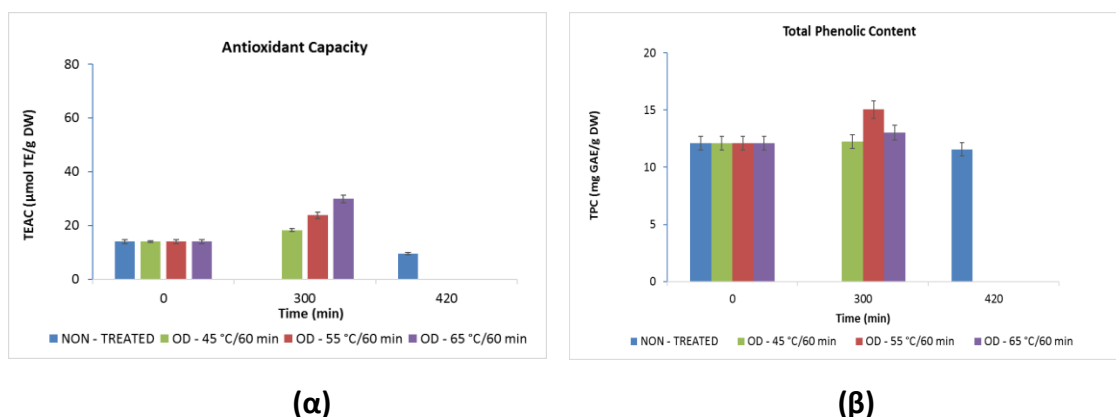
Σχήμα 6.3: Απώλεια υγρασίας (WL, Άξονας Y στα αριστερά) και ενεργότητα νερού (a_w , Άξονας Y στα δεξιά) κατά τη ξήρανση δειγμάτων goji berry που ωσμω – αφυδατώθηκαν στις θερμοκρασίες (β) 45, (γ) 55 και (δ) 65 °C και ανεπεξέργαστου δείγματος (α)

Με την ωσμωτική αφυδάτωση επετεύχθη μείωση του χρόνου ξήρανσης κατά 2 ώρες, δηλαδή κατά 28,6% (7h για τα ανεπεξέργαστα goji berries – 5h για τα ωσμω – αφυδατωμένα).

Η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d , παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή για τα δείγματα που ωσμω – αφυδατώθηκαν στους 65 °C, ενώ μικρότερη για τα ανεπεξέργαστα δείγματα ($1,6 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ και $4,95 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ αντίστοιχα).

Κατά την ξήρανση με θερμό αέρα το ανεπεξέργαστο δείγμα παρουσίασε τη μεγαλύτερη μεταβολή χρώματος ($\Delta E_{\max} = 22,42 \pm 3,24$), η οποία οφειλόταν κυρίως στη μείωση της παραμέτρου L, δηλαδή το δείκτη φωτεινότητας.

Όσον αφορά στην αντιοξειδωτική ικανότητα και στη συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες τα τελικά προϊόντα, που προ – επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσιάζουν αυξημένες τελικές τιμές σχετικά με το αρχικό αποψυγμένο δείγμα (Σχήμα 6.4):

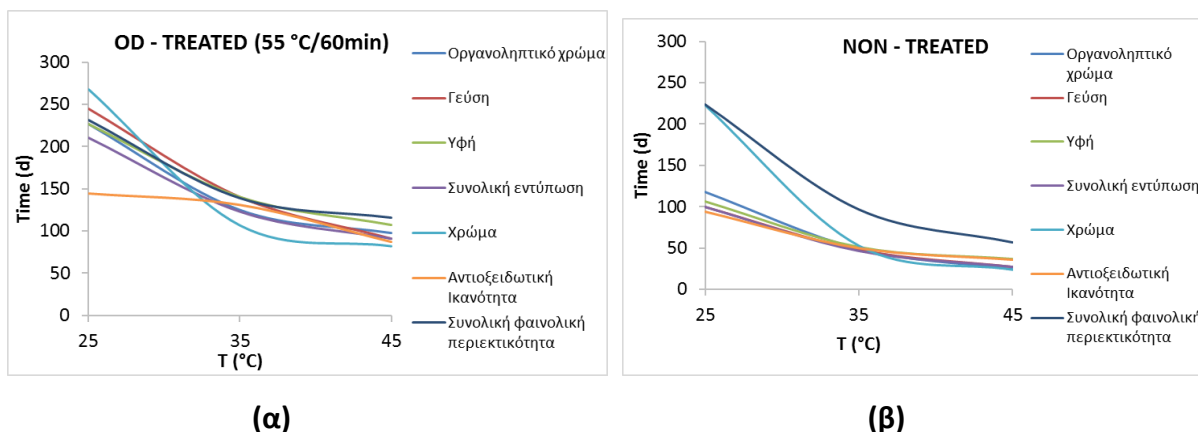


Σχήμα 6.4: (α) Αντιοξειδωτική ικανότητα και (β) συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες αρχικού ανεπεξέργαστου δείγματος ($t = 0$) και τελικών ξηρών προϊόντων ($t = 5h$ και $t = 7h$ ξήρανσης για προ – επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα δείγματα αντίστοιχα)

Τέλος, κατά την πρώτη θεματική ενότητα, πραγματοποιήθηκε πείραμα μελέτης της διατηρησιμότητας των τελικών ξηρών προϊόντων. Τα τελικά προϊόντα που υπεβλήθησαν σε αυτό το πείραμα ήταν τα δείγματα goji berry που ωσμω – αφυδατώθηκαν στους 55 °C και ακολούθησε η ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C (5h), καθώς και δείγματα goji berry που δεν προ- επεξεργάστηκαν (7h).

Η διάρκεια ζωής των προϊόντων προσδιορίστηκε από τη μελέτη μερικών καθοριστικών ποιοτικών δεικτών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων σε σταθερές θερμοκρασίες 25, 35 και 45 °C, κατά ASLT.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 6.5) απεικονίζεται η διάρκεια ζωής των τροφίμων όπως προέκυψε για κάθε ποιοτικό δείκτη και για κάθε μία από τις μελετώμενες συνθήκες, για τα δύο διαφορετικά δείγματα. Οι τιμές που επιλέχθηκαν για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής ήταν: 5 για τον οργανοληπτικό έλεγχο, 0,3 για τη διαφορά $\frac{\Delta E_{max} - \Delta E}{\Delta E_{max}}$ και απώλεια 50% για την αντιοξειδωτική ικανότητα και τη συνολική φαινολική περιεκτικότητα.



Σχήμα 6.5: Διάρκεια ζωής (shelf – life) των (α) προ – επεξεργασμένων με ωσμωτική αφυδάτωση και (β) μη ξηρών προϊόντων goji berry, στις θερμοκρασίες αποθήκευσης 25, 35 και 45 °C

Όπως φαίνεται, τα δύο προϊόντα είναι ιδιαίτερα σταθερά στη θερμοκρασία των 25 °C και εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ενώ με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται ο χρόνος για τον οποίο το προϊόν θεωρείται αποδεκτό. Οι τιμές E_a κυμάνθηκαν από 19,98 kJ/mol (αντιοξειδωτική ικανότητα, ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα) έως 88,77 kJ/mol (χρώμα, μη επεξεργασμένα δείγματα). Η διάρκεια ζωής και των δύο προϊόντων καθορίζεται από το δείκτη συνολική εντύπωση. Ο χρόνος ζωής των μη επεξεργασμένων δειγμάτων υπολογίστηκε ίσος με 27 ημέρες, ενώ για τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα προέκυψε ίσος με 90 ημέρες στη θερμοκρασία των 45 °C. Στους 25 °C, σύμφωνα με τον ποιοτικό δείκτη χρώμα, η διάρκεια ζωής των μη επεξεργασμένων δειγμάτων υπολογίστηκε ίση με 99 ημέρες, ενώ για τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα ίση με 206 ημέρες. Επομένως, η ωσμωτική αφυδάτωση παράτεινε το χρόνο ζωής κατά 108%.

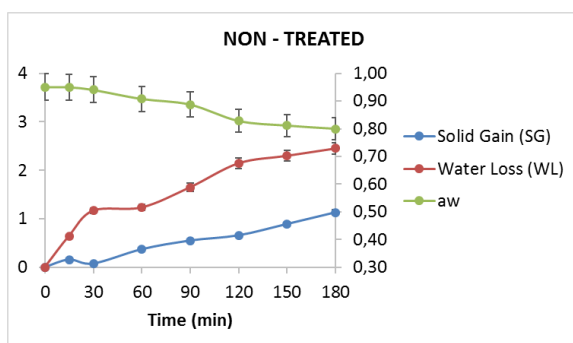
Κατά τη **δεύτερη θεματική ενότητα**, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε φρέσκα goji berries, με σκοπό την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την αφυδάτωση των φρούτων. Για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών πραγματοποιήθηκε πείραμα μέτρησης του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, Z_p , για πεδίο έντασης 0,9, 1,8 και 2,8 kV/cm. Η μέγιστη διάρρηξη (38%) επετεύχθη για την ένταση 2,8 kV/cm και τους 7500 παλμούς. Κατά την πειραματική διαδικασία, μελετήθηκε η επίδραση των διαφορετικών παλμών του πεδίου (750 – 12%, 1500 – 19% και 7500 – 38%) στη διαδικασία της αφυδάτωσης προκειμένου να βρεθεί η επίδραση των διαφορετικών ποσοστών διάρρηξης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Μετά την εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, ακολούθησε ωσμωτική αφυδάτωση στους 55 °C για τη μισή ποσότητα επεξεργασμένων goji berries, ενώ η υπόλοιπη ξηράθηκε με θερμό αέρα στους 60 °C χωρίς την εφαρμογή άλλης μεθόδου προ – επεξεργασίας. Παράλληλα, μελετήθηκε και η συμπεριφορά του μη επεξεργασμένου δείγματος και δείγματος που είχε

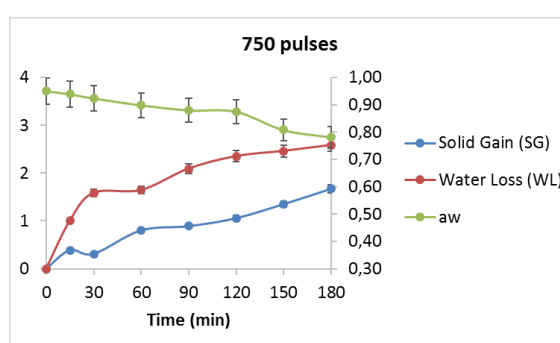
υποστεί freeze – thawing (το freeze – thawing προκάλεσε τη μεγιστη διαρρηξη 38% που αντιστοιχεί στις συνθήκες PEF 2,8 kV/cm και 7500 παλμοί).

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και ξήρανση των δειγμάτων προσδιορίστηκαν τα ίδια μεγέθη και ποιοτικοί δείκτες όπως και στην πρώτη θεματική ενότητα.

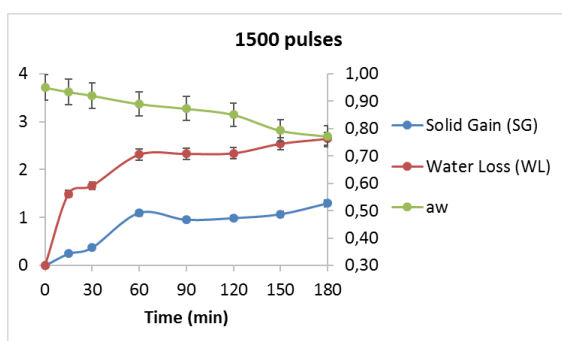
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η απώλεια της υγρασίας, η πρόληψη των στερεών και η μεταβολή της ενεργότητας νερού των επεξεργασμένων και μη με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία δειγμάτων goji berry (Σχήμα 6.6):



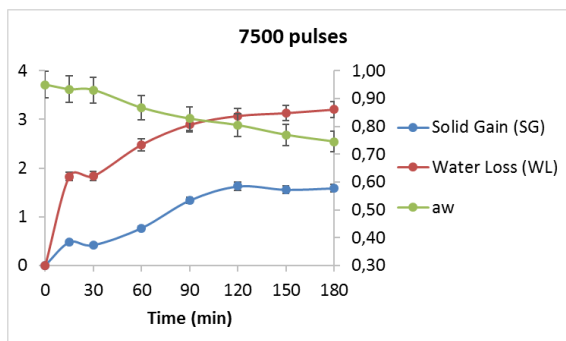
(α)



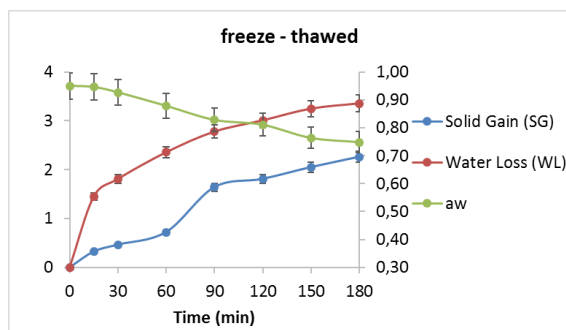
(β)



(γ)



(δ)

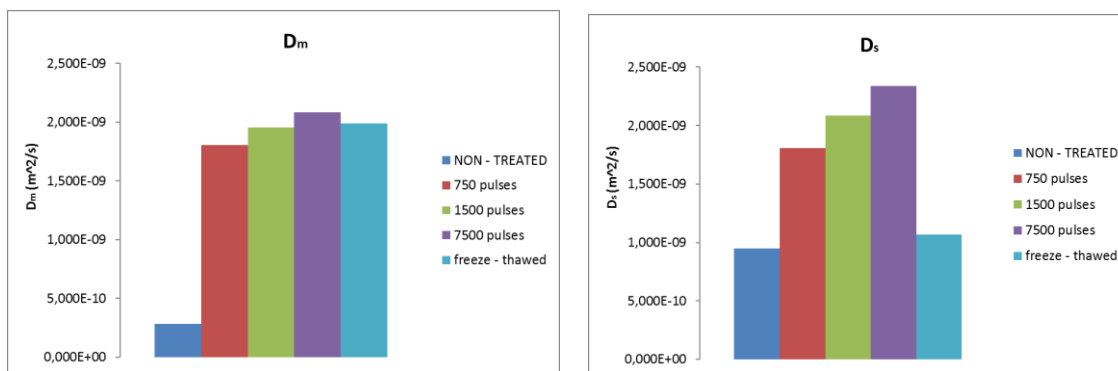


(ε)

Σχήμα 6.6: Απώλεια νερού (WL), πρόσληψη στερεών (SG) (Άξονας Y στα αριστερά) και ενεργότητα νερού (a_w , Άξονας Y στα δεξιά) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (α) μη, (β, γ, δ) προ – επεξεργασμένων με PEF goji berries (750, 1500 και 7500 παλμοί) και freeze – thawed (ε) στους 55 °C

Τα δείγματα που έχουν προ – επεξεργασθεί με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, καθώς και το δείγμα freeze – thawed, χάνουν μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, συγκριτικά με το μη επεξεργασμένο δείγμα. Για τα PEF – επεξεργασμένα δείγματα, η επιτάχυνση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση οφείλεται στην ηλεκτροδιάρθρωση. Όσο αφορά στο freeze – thawed δείγμα, με την κατάψυξη επιτυγχάνεται ο μέγιστος βαθμός διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης.

Η αύξηση των παλμών (750 – 7500) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών των δραστικών συντελεστών διάχυσης νερού και στερεών, όπως φαίνεται και παρακάτω:



(α)

(β)

Σχήμα 6.7: Δραστικοί συντελεστές (α) διάχυσης νερού, D_m , και (β) στερεών, D_s , κατά τη διαδικασία της ώσμωσης των διαφόρων δειγμάτων goji berry, επεξεργασμένων με PEF (750, 1500 και 7500 παλμοί) και μη επεξεργασμένων

Η επίδραση των παλμών στους δραστικούς συντελεστές διάχυσης εκφράζεται με μια σχέση της μορφής:

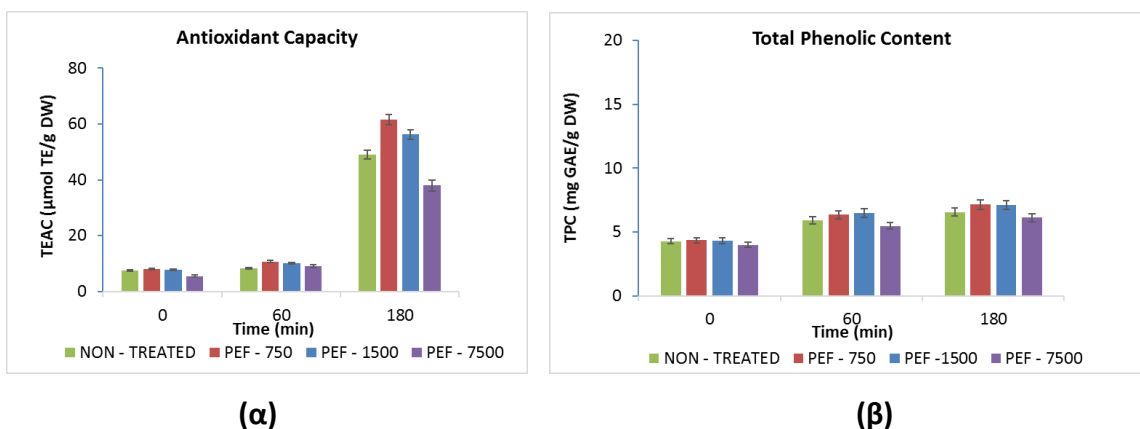
$$D = c_1 \ln p + c_2 \quad (\text{εξ. 6.1})$$

Πίνακας 6.2: Σταθερές της εξίσωσης (6.1) που περιγράφει τη σχέση των παλμών με τους δραστικούς συντελεστές διάχυσης D_m και D_s για την ωσμωτική αφυδάτωση

Δραστικός Συντελεστής Διάχυσης (m^2/s)	c_1	c_2	R^2
D_m	$1,14 \cdot 10^{-10}$	$1,08 \cdot 10^{-9}$	0,9334
D_s	$2,17 \cdot 10^{-10}$	$4,22 \cdot 10^{-10}$	0,9338

Η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων προκάλεσε μια μικρή μεταβολή χρώματος στα δείγματα, ειδικότερα σε αυτά που εφαρμόστηκαν οι 7500 παλμοί. Η μεταβολή αυτή σχετίζεται με τη μείωση των τιμών και των τριών παραμέτρων του χρώματος L, a και b. Ωστόσο, κατά την ωσμωτική αφυδάτωση ο τρόπος μεταβολής του χρώματος ήταν παρόμοιος για όλα τα δείγματα.

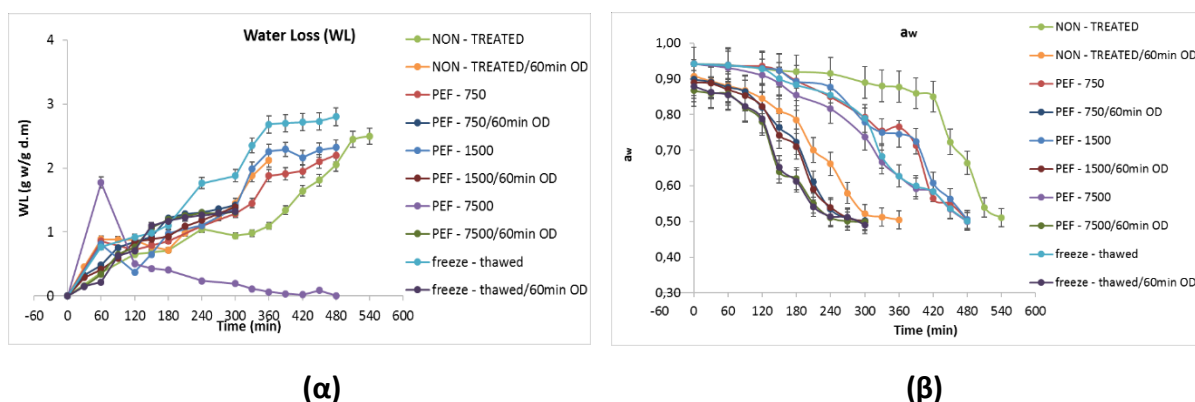
Επιπλέον, το δείγμα που δέχθηκε τους 7500 παλμούς παρουσίασε μικρή μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας και της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινόλες, η οποία πιθανώς οφείλεται στην ελαφρώς αύξηση της θερμοκρασίας κατά την εφαρμογή των ισχυρών αυτών συνθηκών (2,8 kV/cm – 7500 pulses) (Σχήμα 6.8).



Σχήμα 6.8: (α) Αντιοξειδωτική ικανότητα και (β) συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες των διαφόρων δειγμάτων goji berry κατά την ωσμωτική αφυδάτωση στους 55 °C

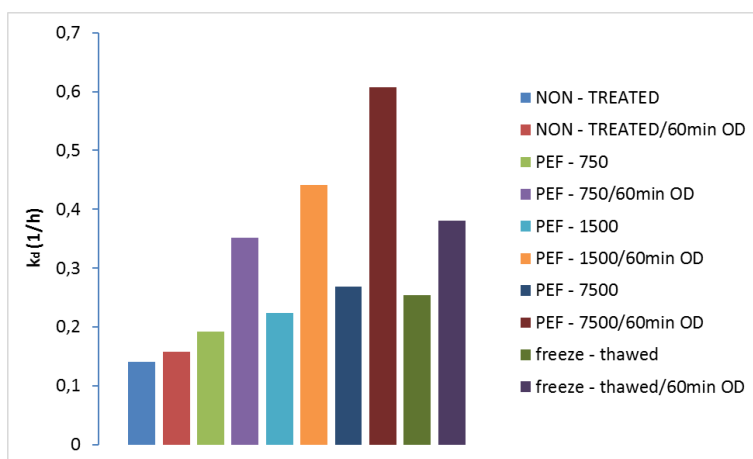
Κατά τη διεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της απώλειας υγρασίας από τα δείγματα και υπολογισμός της σταθεράς του ρυθμού ξήρανσης, k_d , σύμφωνα με το εκθετικό μοντέλο (κεφάλαιο 4.7.2, εξίσωση 4.9).

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση ως προ – επεξεργασία της ξήρανσης με θερμό αέρα είχαν σημαντική επίδραση στη μείωση του χρόνου ξήρανσης. Το ανεπεξέργαστο δείγμα χρειάστηκε 9 ώρες ξήρανση μέχρι να φτάσει την επιθυμητή τιμή της ενεργότητας νερού (0,50), ενώ τα δείγματα που είχαν προ – επεξεργαστεί και με τις δύο μεθόδους χρειάστηκαν μόλις 5 ώρες. Επομένως, επετεύχθη μείωση 44,4% (Σχήμα 6.9).



Σχήμα 6.9: (α) Απώλεια υγρασίας (WL) και (β) ενεργότητα νερού (a_w) όλων των δειγμάτων goji berry κατά την ξήρανση με θερμό αέρα στους 60 °C

Η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d , για τα δείγματα που έχουν ωσμω – αφυδατωθεί πριν την ξήρανση βρέθηκε μεγαλύτερη (Σχήμα 6.10).



Σχήμα 6.10: Σταθερά ρυθμού ξήρανσης, k_d , όλων των δειγμάτων goji berry

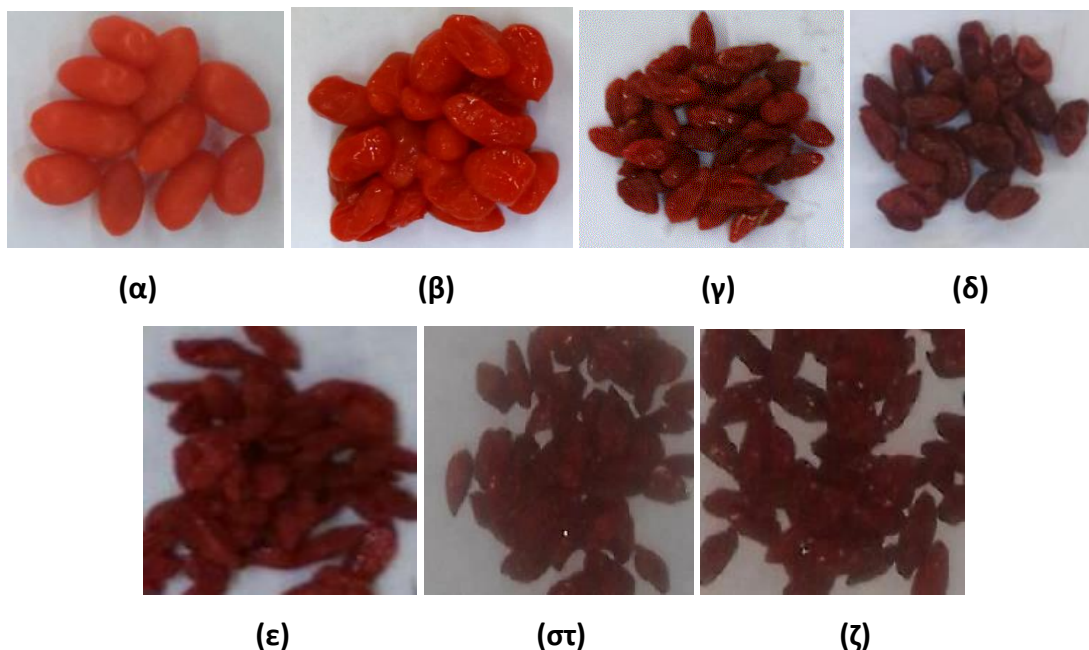
Η σταθερά του ρυθμού ξήρανσης αυξάνεται με την αύξηση των παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων αλλά και με την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως μέθοδο επεξεργασίας πριν από τη συμβατική ξήρανση.

Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση των παλμών με τη σταθερά του ρυθμού ξήρανσης, k_d , είναι η:

$$k_d = c_1 \ln p + c_2 \quad (\text{εξ. 6.2})$$

, οι σταθερές της οποίας είναι η $c_1 = 0,032$ και η $c_2 = - 0,0159$ ($R^2 = 0,9819$).

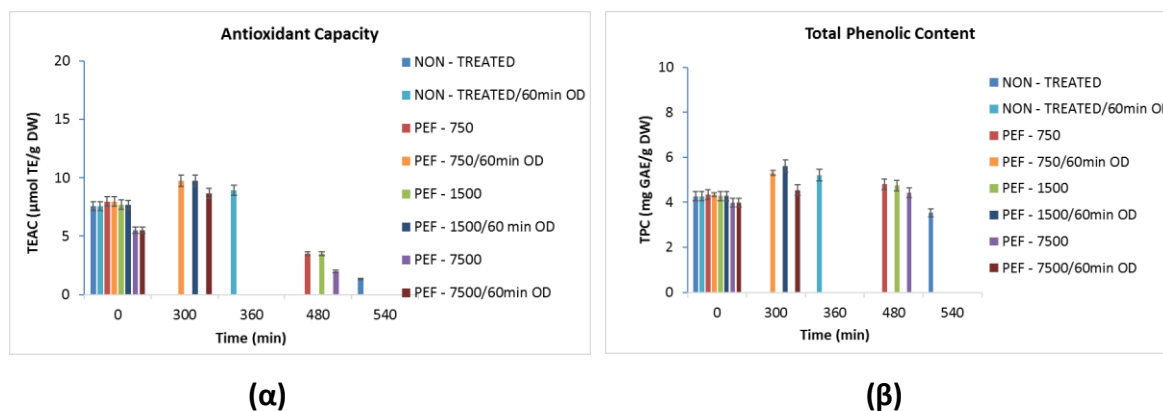
Από όλα αυτά τα δείγματα, τη μέγιστη αλλαγή στο χρώμα παρουσίασε το ανεπεξέργαστο δείγμα κατά την ξήρανση ($\Delta E_{\max} = 21,01 \pm 0,59$) (Σχήμα 6.11), ενώ μετά ακολούθησαν τα PEF – επεξεργασμένα δείγματα. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είχε ως αποτέλεσμα τη μικρή αλλοίωση του χρώματος, ιδίως στους 7500 παλμούς.



Σχήμα 6.11: (α) Φρέσκα goji berries, (β) ωσμω – αφυδατομένα goji berries (55 °C/60 min), (γ) τελικό ξηρό προϊόν goji berry με ωσμωτική προ – επεξεργασία ($t_{\text{ξηρανσης}} = 6 \text{ h}$), (δ) ανεπεξέργαστο ξηρό τελικό προϊόν Goji ($t_{\text{ξηρανσης}} = 9 \text{ h}$) και (ε, στ, ζ) PEF – επεξεργασμένο ξηρό τελικό προϊόν Goji – 750 p, 1500 p και 7500 p, αντίστοιχα ($t_{\text{ξηρανσης}} = 8 \text{ h}$)

Η ωσμωτική αφυδάτωση προστάτευσε το χρώμα όλων των δειγμάτων, τόσο του ανεπεξέργαστου δείγματος, όσο και των επεξεργασμένων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και διατήρησε τη μεταβολή του χρώματος σε χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός ανώτερου προϊόντος όσον αφορά σε αυτόν τον ποιοτικό δείκτη (Σχήμα 6.11).

Στο σχήμα 6.12 απεικονίζεται η αντιοξειδωτική ικανότητα και η συνολική φαινολική περιεκτικότητα, των αρχικών και τελικών ξηρών προϊόντων:



Σχήμα 6.12: (α) Αντιοξειδωτική ικανότητα και (β) συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλες αρχικού ανεπεξεργαστού δείγματος (t = 0) και τελικών ξηρών προϊόντων goji berry

Όλα τα ξηρά δείγματα, εκτός του ανεπεξεργαστού, παρουσιάζουν αυξημένη αντιοξειδωτική ικανότητα καθώς και φαινολική περιεκτικότητα. Τις μεγαλύτερες τιμές, και για τους δύο ποιοτικούς δείκτες εμφανίζουν τα δείγματα που έχουν προ – επεξεργαστεί και με τις δύο μεθόδους, δηλαδή τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και την ωσμωτική αφυδάτωση (750 και 1500 παλμοί).

6.2 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική εργασία παρατίθενται ακολούθως:

Η ξήρανση των φρούτων και των λαχανικών έχει σκοπό την ενίσχυση της σταθερότητας κατά την αποθήκευση, την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων στη συσκευασία και τη μείωση του βάρους κατά τη μεταφορά (Sagar and Kumar, 2010). Η κατανάλωση ενέργειας και η ποιότητα των αποξηραμένων προϊόντων είναι κρίσιμες παράμετροι για την επιλογή της διαδικασίας ξήρανσης. Ένα βέλτιστο σύστημα ξήρανσης, για την παρασκευή αφυδατωμένων προϊόντων με υψηλή ποιότητα, είναι οικονομικά αποτελεσματικό όσο μειώνει το χρόνο ξήρανσης και προκαλεί την ελάχιστη βλάβη στο προϊόν. Για τη μείωση της χρήσης ενέργειας και του λειτουργικού κόστους εφαρμόζονται νέες τεχνικές ξήρανσης. Μεταξύ των νέων τεχνολογιών είναι η ωσμωτική αφυδάτωση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης (60 min, 55 °C) ως μέθοδος προ – κατεργασίας της ξήρανσης με θερμό αέρα οδήγησε στη δημιουργία ξηρών προϊόντων goji berry με υψηλότερη ποιότητα και σε μικρότερο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, η ξήρανση με θερμό αέρα προκάλεσε μείωση του χρόνου κατά προσέγγιση 28,6%. Επιπλέον, τα ωσμω – αφυδατωμένα δείγματα χαρακτηρίζονται από βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως είναι το χρώμα, η αντιοξειδωτική ικανότητα και η συνολική φαινολική περιεκτικότητα, συγκριτικά με τα μη προ – επεξεργασμένα αποξηραμένα προϊόντα goji berry.

Τα αποξηραμένα προϊόντα goji berry χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα κατά την αποθήκευσή τους ($T = 25 - 45 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 150$ ημέρες ($25 \text{ }^\circ\text{C}$)). Ωστόσο, καθοριστικός παράγοντας για τη διάρκεια ζωής του προϊόντος φαίνεται να είναι ο ρυθμός με τον οποίο υποβαθμίζεται η συνολική εντύπωση του τελικού προϊόντος. Τα ωσμο – αφυδατωμένα προϊόντα κρίθηκαν αποδεκτά μέχρι και 107 ημέρες παραπάνω από τα απλά αφυδατωμένα προϊόντα (συνολικά 206 ημέρες στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Η εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων PEF ενίσχυσε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ξήρανση με θερμό αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της ξήρανσης κατά 11,11% (1h) συγκριτικά με την αρχική πρώτη ύλη (φρέσκα goji berries). Παρόλα αυτά, η μεγάλη διάρκεια ξήρανσης (8h) μειώθηκε περεταίρω όταν μετά την εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων τα δείγματα goji berry εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα $55 \text{ }^\circ\text{C}$ για 1h. Με αυτόν τον τρόπο παρήχθησαν βελτιωμένα ξηρά προϊόντα σε μικρότερο χρόνο (5h).

Για τη μελέτη της επίδρασης των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη διαδικασία της ξήρανσης κρίθηκε απαραίτητη η εφαρμογή 7500 παλμών σε ένταση $2,8 \text{ kV/cm}$, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη κυτταρική διάρρηξη στον καρπό. Ωστόσο, όπως απεδείχθη αν και υπάρχει επίδραση του αριθμού των παλμών στους δραστικούς συντελεστές διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (D_m και D_s) αλλά και στη σταθερά του ρυθμού ξήρανσης (k_d), δε μεταβάλλεται ο συνολικός χρόνος ξήρανσης για τη δημιουργία του τελικού επιθυμητού προϊόντος για μικρότερο αριθμό παλμών (750 παλμοί). Έτσι, με μικρότερο ενεργειακό κόστος επιτυγχάνεται η παραγωγή ενός ανώτερου ξηρού προϊόντος, με αποφυγή των επιπτώσεων της εφαρμογής των 7500 παλμών (αμαύρωση, μειωμένη αντιοξειδωτική ικανότητα και φαινολική περιεκτικότητα).

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία **προτείνονται** τα ακόλουθα:

- Είναι αναγκαία η διεξαγωγή έρευνας για το ελληνικό goji berry, καθώς ό,τι υπάρχει στη βιβλιογραφία που σχετίζεται με τα οφέλη του καρπού στην ευεξία, την υγεία και τη μακροζωία αφορά στο κινέζικο goji berry, το οποίο θεωρείται προϊόν προστατευόμενης ονομασίας προέλευσης. Επιπλέον, καθώς η κύρια μέθοδος παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων Goji είναι η ξήρανση στον ήλιο, δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες και άλλες παραμέτρους ξήρανσης με άλλες μεθόδους όπως είναι η ξήρανση με θερμό αέρα κ.α. Επομένως, περεταίρω έρευνες και μελέτες σχετικά με τον τρόπο ξήρανσης αυτών των καρπών τόσο με παραδοσιακές όσο και με καινοτόμες μεθόδους θα κάλυπταν αυτά τα βιβλιογραφικά κενά.
- Η πραγματοποίηση πρόσθετων πειραμάτων με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των μεθόδων προ – κατεργασίας (ωσμωτική αφυδάτωση, παλμικά ηλεκτρικά πεδία) στη δομή της πρώτης ύλης, με τη βοήθεια ειδικού μικροσκοπίου. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορεί να γίνεται αντιληπτός ο βαθμός καταστροφής της κυτταρικής μεμβράνης με την επιβολή των διάφορων συνθηκών. Αυτά τα πειράματα θα μπορούσαν να προσδώσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τον τρόπο επίδρασης των διάφορων μεθόδων επεξεργασίας.

- Τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσαν να επαναληφθούν και να πραγματοποιηθούν σε βιομηχανική κλίμακα. Η εφαρμογή των κατάλληλων συνθηκών θα μπορούσε να οδηγήσει στην εφαρμογή νέων οικονομικότερων και μικρότερων ενεργειακών απαιτήσεων τεχνολογιών για την παραγωγή ενός βελτιωμένου εμπορικού προϊόντος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ade-Omowaye, B.I.O, Angersbach, A., Taiwo, K.A. and Knorr, D. (2001). Use of pulsed electric field pretreatment to improve dehydration characteristics of plant based foods. *Trends in Food Science & Technofitlogy*, 12: 285 – 295.

Ade-Omowaye, B.I.O, Rastogi, N.K, Angersbach, A. and Knorr, D., (2002). Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. *Journal of Food Engineering*, 54: 35 – 43.

Ade-Omowaye, B.I.O, Rastogi, N.K, Angersbach, A. and Knorr, D., (2003). Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. *Journal of Food Engineering*, 60: 89 – 98.

Aguilera, J.M., Stanley, D.W., and Baker, K. W., (2000). New dimensions in microstructure of food products. *Trends in Food Science and Technology* 11: 3 – 9.

Ahmed, I., Qazi, H.M. and Jamal, S., (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34: 29 – 43.

Aktas, T., Ulger, P., Daglioglu, F. and Hasturk, F. (2013). Changes of Nutritional and Physical Quality Characteristics during Storage of Osmotic Pretreated Apple before Hot Air Drying and Sensory Evaluation. *Journal of Food Quality*, 36 (6): 411 – 425.

Alfaro, S., Mutis, A., Quiroz, A., Seguel, I. and Scheuermann, E., (2014). Effects of Drying Techniques on Murtilla Fruit Polyphenols and Antioxidant Activity. *Journal of Food Research*, 5: 73 – 80.

Amagase, H. and Farnsworth, N.R., (2011), A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji). *Food Research International*, 44: 1702 – 1717.

Amami, E. Vorobiev, E. and Kechaou, N., (2006). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT — Food Science and Technology*, 39: 1014 – 1021.

Amami, E., Fersi, A., Vorobiev, E. and Kechaou, N., (2007). Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and centrifugal force. *Journal of Food Engineering*, 83: 605 – 613.

- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A.B. and Vorobiev, E., (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* (2014) 26: 93 – 102.
- Amami, E., Fersi, A., Khezami, L., Vorobiev, E. and Kechaou, N., (2007). Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT – Food Science and Technology*, 40: 1156 – 1166.
- Ando, Y., Maeda, Y., Mizutani, K., Wakatsuki, N., Hagiwara, S. and Nabetani, H., (2016). Impact of blanching and freeze-thaw pretreatment on drying rate of carrot roots in relation to changes in cell membrane function and cell wall structure. *LWT – Food Science and Technology*, 71: 40 – 46.
- Arslan, D. and Ozcan, M.M., (2011). Dehydration of red bell-pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*. 89: 504 – 513.
- Assis, F.R., Morais, R.M.S.C., and Morais, A.M.M.B., (2015). Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Food Products: Comparison Between Mathematical Models. *Food Engineering Reviews*, 8 (2): 116 – 133.
- Azuara, E., Beristain, C.I. and Garcia, H.S., (1992). Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *Journal of Food Science and Technology* 29: 239 – 242.
- Babalís, S. J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N. and Belessiotis, V. G. (2006). Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75(2): 205 – 214.
- Babalís, S.J. and Belessiotis, V.G., (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65 (3): 449 – 458.
- Barbosa-Canovas G.V., Gongora-Nieto M.M., Pothakamury U.R. and Swanson B.G., 1999. *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press.
- Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M. and Blecker, C., (2010). Effect of Air-Drying Conditions on Physico-chemical Properties of Osmotically Pre-treated Pomegranate Seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 1 – 13.

- Bekele, Y. and Ramaswamy, H., (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Journal of Applied Sciences and Technology*, 1: 1–15.
- Bellary, A.N., Sowbhagya, H.B. and Rastogi, N.K., (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105: 453 – 459.
- Benchenouf, A., Grigorakis, S., Loupassaki, S. and Kokkalou, E., (2016). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Lycium barbarum* (Goji) cultivated in Greece. *Pharmaceutical Biology*, 55: 596 – 602.
- Bera, D. and Roy, L., (2015). Osmotic dehydration of litchi using sucrose solution: Effect of mass transfer. *Journal of Food Processing & Technology*: 6, 1 – 7.
- Bobinaite, R., Pataro, G., Lamanaukas, N., Šatkauskas, S., Viškelis, P. and Ferrari, G., (2015). Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from blueberry fruits and their by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (9): 5898 – 5905.
- Brand – Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*: 28, 25 – 30.
- Bucheli, P., Gao, C., Redgwell, R., Vidal, K., Wang, J. and Zhang, W., (2011). Biomolecular and Clinical Aspects of Chinese Wolfberry. In: Benzie, F.F.I. and Wachtel – Galor S. (eds), (2011). *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*. 2nd ed. CRC Press. Chapter 14.
- Bui, H.T., Makhlof, J. and Ratti, C. (2009). Osmotic dehydration of tomato in sucrose solutions: Fick's law classical modeling. *Journal of Food Science*, 74: 250 – 258.
- Chavan, U.D. and Amarowicz, R., (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1: 202 – 209.
- Chemat, F., Zille, H. and Khan, M.K., (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18 (4): 813 – 835.
- Cheng, C.Y., Chung, W.Y., Szeto, Y.T. and Benzie, I.F.F., (2005). Fasting plasma zeaxanthin response to *Fructus barbarum* L. (wolfberry; Kei Tze) in a food-based human supplementation trial. *British Journal of Nutrition*, 93: 123–130.
- Choi, M.H., Kim, G.H. and Lee, H.S., (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35: 753 – 759.

Choi, Y., Lee, S.M., Chun, J., Lee, H.B. and Lee, J., (2006). Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chemistry*, 99: 381 – 387.

Ciurzynska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K. and Lenart, A., (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science and Technology*, 50: 186 – 192.

Collignan A., Bohuon, P., Deumier, F. and Polligne, I., (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49: 153 – 162.

Crank, J., 1975. *THE MATHEMATICS OF DIFFUSION*. 2nd Ed. Clarendon Press, Oxford.

Da Costa Ribeiro, S.A., Aguiar – Oliveira E. and Maldonado, R.R., (2016). Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. *LWT - Food Science and Technology*, 72: 417 – 415.

Dala – Rosa, M. and Giroux, F., (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of Food Engineering*, 49: 223 – 236.

De Vito, F., (2005). Application of Pulsed Electric Field (PEF) Techniques in Food Processing. Ph.D. Course in Chemical Engineering. Department of Chemical and Food Engineering, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO.

Dermensolouoglou, E., Zachariou, I., Andreou, V. and Taoukis, P.S., (2016). Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit. *Foods and Bioproducts Processing*, 100: 535 – 544.

Dermesonlouoglou, E., Katsaros, G., Tsevdou, M., Giannakourou, M. and Taoukis, P., (2015). Kinetic study of quality, and shelf-life modelling of frozen spinach under dynamic conditions of the cold chain. *Journal of Food and Engineering*, 148: 13 – 23.

Donno, D., Beccaro, G.L., Mellano, M.G., Cerutti A.K. and Bounous, G., (2015). Goji berry fruit (*Lycium* spp.): antioxidant compound fingerprint and bioactivity evaluation. *Journal of functional foods*, 18: 1070 – 1085.

Donsi, F., Ferrari, G., Fruilo, M. and Pataro, G., (2011). Pulsed Electric Fields – assisted vinification. *Procedia Food Science – 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF 11)*, 1: 780 – 785.

El – Aouar, A.A., Azoubel, P.M., Barbosa, J.L. Jr. and Murr, F.E.X., (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75: 267 – 274.

Elez – Martinez, P., Sobrino – Lopez, A., Soliva – Fortuni, R. and Martin – Belloso, O., (2012). Pulsed Electric Field Processing of Fluid Foods. In: Cullen, P.J., Tiwari, B.K. and Valdramidis P.V. (eds), (2012). Novel Thermal and Non-thermal Technologies for Fluid Foods. Academic Press. Chapter 4.

Endes, Z., Uslu, N., Ozcan, M.M. and Er, F., (2015). Physico-chemical properties, fatty acid composition and mineral contents of goji berry (*Lycium barbarum* L.) fruit. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 21 (1): 36 – 40.

Falade K. O., Igbeka J. C. and Ayanwuyi, F. A., (2007). Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. Journal of Food Engineering, 80: 979 – 985.

Falade, K.O. and Igbeka, J.C., (2007). Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. Food Reviews International, 23: 373 – 405.

Falade, K.O. and Oyedele, O.O., (2010). Effect of osmotic pretreatment on air drying characteristics and colour of pepper (*Capsicum spp*) cultivars. Journal of Food Science and Technology, 47: 488 – 95.

FDA, (2016). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – Pulsed Electric Field.

Fellows, P. J., (2000). Processing using electric fields, high hydrostatic pressure, light or ultrasound. In: Fellows, P. J. (ed), (2000). Food Processing Technology: Principles and Practice. 2nd edition. CRC Press. Chapter 9.

Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S., Gaspareto, O.C.P. and Oliveira, E.L., (2006). Optimization of osmotic dehydration of banana followed by air-drying. Journal of Food Engineering, 77: 188 – 193.

Fincan, M. and Dejmek, P., (2002). In situ visualization of the effect of a pulsed electric field on plant tissue. Journal of Food Engineering, 55: 223 – 230.

Fito, P., Andres, A., Chiralt, A. and Pardo, P., (1996). Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid System. Journal of Food Engineering, 27: 229 – 240.

Garcia, C.C., Mauro, M.A. and Kimura, M., (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). Journal of Food Engineering, 82 (3): 284 – 291.

Giannioti, A., Sacchetti, G., Guerzoni, M.F. and Dala – Rosa M., (2001). Microbial aspects on short-time osmotic treatment of kiwifruit. Journal of Food Engineering, 49: 265 – 270.

- Gruenwald, J., (2009). Novel botanical ingredients for beverages. *Clinics in Dermatology*, 27: 210 – 216.
- Guo, D.J., Cheng, H.L., Chan, S.W. and Yu, P.H.F., (2008). Antioxidative activities and the total phenolic contents of tonic Chinese medicinal herbs. *Inflammopharmacology*, 16: 201 – 207.
- Herman – Lara, E., Martinez – Sanchez, C.E., Pacheco – Angulo, H., Carmona – Garcia, R., Ruiz – Espinosa, H., and Ruiz – Lopez, H., (2013). Mass transfer modeling of equilibrium and dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 91: 216 – 224.
- Hodgins, A.M., Mittal, G.S. and Griffiths, M.W., (2002). Pasteurization of Fresh Orange Juice Using Low-Energy Pulsed Electrical Field. *Journal of Food Science*, 67 (6): 2294 – 2299.
- Inbaraj, B.S., Lu, H., Hung, C.F., Wu, W.B., Lin, C.L. and Chen, B.H., (2008). Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* L. by HPLC-DAD-APCI-MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47: 812 – 818.
- Ispir, A. and Tođrul, Đ.T., (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemistry of Engineering Research and Design*, 87: 166 – 172.
- Jager, H., Schossler, K. and Knorr, D., (2014). Process – Induced Minimization of Mass Transfer Barriers for Improved Drying. In: Tsotsas, E. and Mujumdar, A.S. (eds), (2014). *Modern Drying Technology*, Volume 5, Process Identification. John Wiley & Sons. Chapter 7.
- Janositz, A., Semrau, J. and Knorr, D., (2011). Impact of PEF treatment on quality parameters of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12: 269 – 274.
- Jemai, A.B. and Vorobiev, E., (2003). Enhanced leaching from sugar beet cossettes by pulsed electric field, *Journal of Food Engineering*, 59: 405 – 412.
- Jin, M., Huang, Q., Zhao, K. and Shang, P., (2013). Biological activities and potential health benefit effects of polysaccharides isolated from *Lycium barbarum* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 54: 16 – 23.
- Kaymak – Ertekin, F. and Sultanoglu, M., (2000). Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 46: 243 – 250.
- Ketata, M., Desjardins, Y. and Ratti, C., (2013). Effect of liquid nitrogen pretreatments on osmotic dehydration of blueberries. *Journal of Food Engineering*, 116: 202 – 212.

Khan M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation – A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22: 71 – 85.

Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Šic Žlabur, J., Režek Jambrak, A., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N. and Barba, F.J., (2015). Current and New Insights in the Sustainable and Green Recovery of Nutritionally Valuable Compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 6835 – 6846.

Krokida, M.K., Karathanos, V.T. and Maroulis, Z.B., (2000). Effect of osmotic dehydration on color and soption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18: 937 – 950.

Kwok, B.H.I., Durance, T. and Kitts, D.D., (2004). Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of Saskatoon berries (*Amerlachie alnifolia* Nutt). *Journal of Food Sciences*, 69.

Landrum, J.T. and Bone, R.A., (2001). Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385: 28 – 40.

Lazarides, H.N., Katsanidis E. and Nickolaidis A., (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering*, 25: 151 – 166.

Leadley, C.E. and William, A., (2006). Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies. In: Brennan, J.G., Grandison, A.S. (eds), (2006). *Food Processing Handbook*. 2nd edition. WILEY – VCH. Chapter 7.

Lebovka, N.I, Shynkaryk, N.V. and Vorobiev, E., (2007). Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 78: 606 – 613.

Leusink, G.J., Kitts, D., Yaghmaee, P. and Durance, T., (2010). Retention of antioxidant capacity of vacuum microwave dried cranberry. *Journal of Food Sciences*, 75: 311 – 316.

Lewicki, P.P., (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 153 – 163.

Lewicki, P.P. and Lenart, A., (2014). Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. In: Mujumdar, A.A. (ed), (2014). *Handbook of Industrial Drying*. 4th edition. CRC Press. Chapter 32.

Li, X.M., (2007). Protective effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on streptozotocin-induced oxidative stress in rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 40: 461 – 465.

Liu, Y., Sun, W., Zeng, S., Huang, W., Liu, D., Hu, W., Shen, X. and Wang, Y., (2014). Virus – induced gene silencing in two novel functional plants, *Lycium barbarum* L. and *Lycium ruthenicum* Murr. *Scientia Horticulturae*, 170: 267 – 274.

Llorent – Martínez, E. J., Fernández – de Córdoba, M.L., Ortega – Barrales, P. and Ruiz – Medina, A., (2013). Characterization and comparison of the chemical composition of exotic superfoods. *Microchemical Journal*, 110: 444 – 451.

Lombard G.E., Oliveira J. C., Fito P. and Andrés A. (2008). Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *Journal of Food Engineering*, 85: 277 – 284.

López, J., Uribe, E., Vega – Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., González, E. and Di Scala, K., (2010). Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin C, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety O’Neil. *Food Bioprocess Technology*, 3: 772 – 777.

Lu, S.P. and Zhao, P.T., (2010). Chemical characterization of *Lycium barbarum* polysaccharides and their reducing myocardial injury in ischemia/reperfusion of rat heart. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47: 681 – 684.

Luo, Q., Cai, Y., Yan, J., Sun, M. and Corke, H., (2004). Hypoglycemic and hypolipidemic effects and antioxidant activity of fruit extracts from *Lycium barbarum*. *Life Sciences*, 76: 137 – 149.

Ma, W., Ni, Z., Li, H. and Chen, M., (2008). Changes of the Main Carotenoid Pigment Contents During the Drying Processes of the Different Harvest Stage Fruits of *Lycium barbarum* L. *Agricultural Sciences in China*, 7: 363 – 369.

Mao, F., Xiao, B., Jiang, Z., Zhao, J., Huang, X. and Guo, J., (2011). Anticancer effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on colon cancer cells involves G0/G1 phase arrest. *Medical Oncology*, 28: 12 – 126.

Mebatsion, H.K., Verboven, P., Ho, Q.T., Verlinden, B.E., and Nicolai, B.M., (2008). Modelling fruit (micro)structures, why and how? *Trends in Food Science and Technology*, 19: 59 – 66.

Mercali, G.D., Ferreira Marczak, L.D., Tessaro, I.C., and Pelayo Zapata Norena, C., (2012). Osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.) in ternary aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. *Journal of Food Process Engineering*, 35 (1) : 149 – 165.

Mertens, B. and Knorr, D., (1992). Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technology*, 124 – 133.

Min, S.C, Jin, Z.T. and Zhang, Q.H., (2003). Commercial Scale Pulsed Electric Field Processing of Tomato Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 3338 – 3344.

- Mohamed, M. and Amer – Eissa, A.H., (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. In: Amer – Eissa, A.H. (ed), (2012). Structure and Function of Food Engineering. INTECH. Chapter 11.
- Morales-de la Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A. and Martín-Belloso, O., (2010). Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice–soymilk beverage in chilled storage. *LWT - Food Science and Technology*, 43: 872 – 881.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D. and Vazquez, G., (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solution. *LWT- Food Science and Technology*, 40: 1507 – 1514.
- Mundada, M., Hathan, B. S. and Maske, S., (2011). Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*, 75: 31 – 39.
- Nambiar, S.S., Basu, A., Shetty, N.P., Rastogi and N.K, Prapulla, S.G., (2016). Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on the antioxidant activity of the fruit. *Journal of Food Engineering*, 190: 139 – 146.
- Navarro, P., Noguera – Artiaga, L., Lopez – Miranda, S., Carbonell – Barrachina, A.A. and Perez – Lopez, A.J., (2016). Goji Berry Juice. In: Shahidi, F. and Alasalvar, C. (eds), (2016). Handbook of Fuctional Beverages and Human Health. CRC Press. Chapter 20.
- Nieuwenhuijzen, N.H., Zareifard, M.R. and Ramaswamy, H.S., (2001). Osmotic drying kinetics of cylindrical apple slices of different sizes. *Drying Technology*, 19: 525 – 545.
- Nikjooy, S.and Hashemi, S.H., (2014). The Effects of Drying Conditions on the Color of Savory (*Satureia hortensis*) Leaves. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7: 225 – 229.
- Ochoa – Martínez, C.I. and Ayala – Aponte, A.A., (2007). Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. *LWT - Food Science and Technology* 40 (4): 638 – 645.
- Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T. & Tagawa, A., (2008). Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 85(2): 303 – 308.
- Ortega-Rivas, E., Zárata-Rodríguez, E. and Barbosa-Cánovas, G.V., (1998). Apple Juice Pasteurization Using Ultrafiltration and Pulsed Electric Fields. *Food and Bioproducts Processing*, 76: 193 – 198.

- Ozdemir, M., Ozen, B.F., Dock, L.L. and Floros, J.D., (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 41 (10): 2044 – 2050.
- Pataro, G., Ferrari, G. and Donsi, F., (2011). Mass Transfer Enhancement by Means of Electroporation. In: Markos, J. (ed), (2011). *Mass Transfer in Chemical Engineering Processes*. Rijeca, Croatia: INTECH. Chapter 8.
- Paul, P. K., Ghosh, S. K., Singh, D. K. and Bhowmick, N., (2014). Quality of osmotically pre-treated and vacuum dried pineapple cubes on storage as influenced by type of solutes and packaging materials. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (8): 1561 – 1567.
- Peng, Y., Ma, C., Li, Y., Leung, K.S., Jiang, Z.H. and Zhao, Z., (2006). Quantification of zeaxanthin dipalmitate and total carotenoids in *Lycium* fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60: 161 – 164.
- Phisut, N., (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19: 7 – 18.
- Potterat, O., (2010). Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, Pharmacology and Safety in the Perspective of Traditional Uses and Recent Popularity. *Planta Med*, 76: 7 – 19.
- Que, F., Mao, L., Fang, X. and Wu, T., (2008). Comparison of hot air drying and freeze drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 43: 1195 – 1201.
- Rahman, M.S., (2007). Osmotic Dehydration of Foods. In: Rahman, M.S. (ed), (2009). *Handbook of Food Preservation*. 2nd edition. CRC Press. Chapter 19.
- Ramya, V. and Jain, N.K., (2016). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, doi:10.1111/jfpe.12440.
- Raso, J., Freyb, W., Ferraric, G., Pataro, G., D. Knorr, D., Teissief, J. and Miklavčič, D., (2016). Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food and biotechnological processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37: 312 – 321.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjana, K. and Knorr, D., (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13 (2): 48 – 59.

Rizzolo, A., Gerli, F., Prinziavalli, C., Buratti, S. and Torreggiani, D., (2007). Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv *Camarosa*): Influence of osmotic solution composition and processing time. *LWT – Food Science and Technology*, 40 (3):529 – 535.

Rodrigues, A.C.C., Cunha, R.L. and Hubinger, M.D., (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59: 129 – 135.

Rodrigues, S., and Fernandes, F.A.N., (2007). Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 80 (2):678 – 687.

Rodriguez, K., Ah – Hen, K.S., Vega – Galvez, A., Vasquez, V., Quispe – Fuentes, I., Rojas, P. and Lemus – Mondaca, R., (2015). Changes in bioactive components and antioxidant capacity of maqui, *Aristotelia chilensis* [Mol] Stuntz, berries during drying. *LWT – Food Science and Technology*, 65: 537 – 542.

Sagar, V.R. and Kumar, P. S., (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1): 15 – 26.

Sánchez-Vega, R., Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O., (2015). Influence of high-intensity pulsed electric field processing parameters on antioxidant compounds of broccoli juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 70 – 77.

Sereno, A.M., Moreira, R., and Martinez, E., (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering* 47: 43 – 49.

Serratos, M., Marquez, A., Lopez-Toledano, A., Medina, M. and Merida, J., (2011). Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity in relation to their phenolic composition during the chamber drying of red grapes at a controlled temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59: 1882 – 1892.

Shi, J. and Xue, S.J., (2009). Application and Development of Osmotic Dehydration Technology in Food Processing. In: Ratti, C. (ed), (2009). *Advances in Food Dehydration*. CRC Press. Chapter 7.

Singh, R.P. and Anderson, B.A, (2004). The major types of food spoilage: an overview. In: Steele, R. (ed), (2004). *Understanding and measuring the shelf – life in food*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited. Chapter 1.

Singla, R., Ganguli, A. and Ghosh, M., (2010). Antioxidant activities and polyphenolic properties of raw and osmotically dehydrated dried mushroom (*Agaricus bisporous*) snack food. *International Journal of Food Properties*, 13: 1290 – 1299.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A. Jr., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144 – 158.

Sritongtae, B., Mahawanich, T. and Duangmal, K., (2011). Drying of Osmoded Cantaloupe: Effect of Polyols on Drying and Water Mobility. *Drying Technology*, 29 (5): 527 – 535.

Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D. and Alexe, P., (2013). Non-thermal novel food processing technologies – An overview. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19: 212 – 217.

Stojanovic, J. and Silva, J.L., (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, color and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101: 898 – 906.

Sultana, B., Anwar, F., Ashraf, M. and Saari, N., (2012). Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6: 161-167.

Tadesse, T.F., Abera, S. and Worku, S., (2015). Nutritional and sensory properties of solar-dried carrot slices as affected by blanching and osmotic pre-treatments *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5: 24 – 32.

Taiwo, K.A., Angersbach, A. and Knorr, D., (2003). Effects of Pulsed Electric Field on quality factors and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Process Engineering*, 26 (1): 31 – 48.

Taiwo, K. A., Eshtiaghi, M.N., Ade-Omowaye, B.I.O and Knorr, D., (2003). Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 38 (6): 693 – 707.

Tang, W.M., Chan, E., Kwok, C.Y., Lee, Y.K., Wu J.H., Wan C.W. and Chan S.W., (2012). A review of the anticancer and immunomodulatory effects of *Lycium barbarum* fruit. *Inflammopharmacology*, 20: 307 – 314.

- Thalerngnawachart, S. and Duangmal, K., (2016). Influence of humectants on the drying kinetics, water mobility, and moisture sorption isotherm of osmosed air-dried papaya. *Drying Technology*, 34 (5): 574 – 583.
- Therdthai, N., Zhou, W. and Pattanapa, K., (2011). Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin (cv. *Sai-Namphaung*). *International Journal of Food Science & Technology*, 46 (11): 2401 – 2407.
- Toğrul, I.T. and Pehlivan, D., (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58: 23 – 32.
- Tortoe, C., (2010). A review of osmohydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4: 303 – 324.
- Vega – Mercado, H., Gongora – Nieto, M.M., Barbosa – Canovas, G.V. and Swanson, B.G., (2007). Pulsed Electric Fields in Food Preservation. In: Rahman, M.N. (ed), (2007). *Handbook of Food Preservation*. 2nd edition. CRC Press. Chapter 33.
- Vega – Mercado, H., Martin – Belloso, O., Qin, B.L., Chang, F. J., Gongora – Nieto, M.M., Barbosa – Canovas, G.V. and Swanson, B.G., (1997). Non-thermal food preservation: Pulsed electric fields. *Trends in Food Science & Technology*, 8: 151 – 157.
- Vicente, S., Nieto, A.B., Hodara, K., Castro, M. A. and Alzamora, S. M., (2012). Changes in Structure, Rheology, and Water Mobility of Apple Tissue Induced by Osmotic Dehydration with Glucose or Trehalose. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (8): 3075 – 3089.
- Vilela, A., Sobreira, C., Abraão, A.S., Lemos, A.M., and Nunes, F. M., (2016). Texture Quality of Candied Fruits as Influenced by Osmotic Dehydration Agents. *Journal of Texture Studies*, 47 (3): 239 – 252.
- Vorobiev, E. and Lebovka, N.I., (2006). Extraction of intracellular components by pulsed electric fields. In: Raso, J. and Heinz, V. (eds), 2006. *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry: Fundamentals and Applications*. New York: Springer.
- Wang, C.C., Chang, S.C., Inbaraj B.S. and Chen B.H., (2010). Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity. *Food Chemistry*, 120: 184 – 192.
- Wang, Y., Chen, H., Wu, M., Zeng, S., Liu, Y. and Dong, J., (2015). Chemical and Genetic Diversity of Wolfberry. In: Chang, R.C.C., So, K.F. (eds), (2015). *Lycium Barbarum and Human Health*. London: Springer. Chapter 1.

Wiktor, A., Schulz, M., Voigt, E., Witrowa – Rajchert, D. and Knorr, D., (2015). The effect of pulsed electric field treatment on immersion freezing, thawing and selected properties of apple tissue. *Journal of Food Engineering*, 146: 8 – 16.

Wiktor, A., Nowacka, M., Dadan, M., Rybak, K., Lojkowski, W., Chudoba, T. and Witrowa-Rajchert, D., (2016). The effect of pulsed electric field on drying kinetics, color, and microstructure of carrot. *Drying Technology*, 34: 1286 – 1296.

Wiktor, A., Śledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., Chudoba, T. and Lojkowski, W., (2015). The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30: 69 – 78.

Wouters, P.C., Alvarez, I. and Raso, J., (2001). Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 12 (3–4): 112 – 121.

Yang, D., Li, S.Y., Yeung, C.M., Chang, R.C.C., So, K.F., Wong, D. and Lo, A.C.Y., (2012). *Lycium barbarum* Extracts Protect the Brain from BloodBrain Barrier Disruption and Cerebral Edema in Experimental Stroke. *PLoS ONE*, 7.

Yeom, H.W., Streaker, C.B., Zhang Q.H. and Min, D.B., (2000). Effects of Pulsed Electric Fields on the Quality of Orange Juice and Comparison with Heat Pasteurization, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48: 4597 – 4605.

Yu, M.S., Leung, S.K.Y., Lai, S.W., Che, C.M., Zee, S.Y., So, K.F., Yuen, W.F. and Chang, R.C.C., (2005). Neuroprotective effects of anti-aging oriental medicine *Lycium barbarum* against β -amyloid peptide neurotoxicity. *Experimental Gerontology*, 40: 716 – 727.

Zhang, M., Chen, H., Huang, J., Li, Z., Zhu, C. and Zhang, S., (2005), Effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on human hepatoma QGY7703 cells: inhibition of proliferation and induction of apoptosis. *Life Sciences*, 76: 2115 – 2124.

Zhang, Q., Chen, W., Zhao, J. and Xi, W., (2016). Functional constituents and antioxidant activities of eight Chinese native goji genotypes. *Food Chemistry*, 200: 230 – 236.

Zhang, Z., (2013). Antioxidant Properties of Goji Berries. Thesis for the degree of Master of Science, Wayne State University. Detroit, Michigan.

Zhu M., Jinggang M., ChangSheng H., Haiping X., Ning M. and Caijiao W., (2012). Extraction, characterization of polysaccharides from *Lycium barbarum* and its effect on bone gene expression in rats. *Carbohydrate Polymers*, 80, 672 – 676.

Ταούκης Π., Ωραιοπούλου Β., (2009). Επιστήμη και μηχανική τροφίμων διεργασιών τροφίμων. Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα.