



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ &
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΩΣΜΩΤΙΚΑ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΗΣ
ΠΑΤΑΤΑΣ ΣΕ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΖΑΧΑΡΟΖΗΣ, ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ
ΝΑΤΡΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ

ΚΟΥΣΤΟΥΔΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΤΣΙΛΙΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011

Μηχανικές ιδιότητες ωσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας σε διάλυμα ζαχαρόζης, χλωριούχου νατρίου, και μειγμάτων τους.

ΚΟΥΣΤΟΥΔΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΤΣΙΛΙΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης.

Σεπτέμβριος, 2011

Εισηγητές : Αντωνίου Αικατερίνη

Μηχανικές ιδιότητες ωσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας σε διάλυμα ζαχαρόζης, χλωριούχου νατρίου, και μειγμάτων τους.

Κουστούδα Χριστίνα και Τσιλίκης Κωνσταντίνος

A.T.E.I. Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής

Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 54101 Θεσσαλονίκη Τ.Θ.14561

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ωσμωτική αφυδάτωση πατάτας με χρήση διαλυμάτων NaCl 25%, Ζαχαρόζης 62% ,και μεικτών διαλυμάτων : Ζαχαρόζης 47%-NaCl 15% και Ζαχαρόζης 52%- NaCl 10% Στα παραπάνω διαλύματα σε σταθερή θερμοκρασία 35⁰ C εμβαπτίστηκαν πατάτες κομμένες σε ροδέλες πάχους περίπου 1cm και διαμέτρου 3,5 cm για χρόνο 1,2,4,6 ώρες. Προσδιορίστηκαν οι παράμετροι που αφορούν στην μεταφορά μάζας, όπως μεταβολή υγρασίας, μείωση βάρους απώλεια νερού, πρόσληψη στερεών, και μετρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες των νωπών και ωσμωτικά αφυδατωμένων πατατών στο Instron

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι οι πατάτες στα μεικτά διάλυμα ζάχαρης-χλωριούχου νατρίου και ιδιαίτερα στο διάλυμα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου παρουσιάζουν μεγαλύτερη απώλεια νερού, μείωση βάρους και πρόσληψη στερεών και τη μικρότερη τελική υγρασία συγκρινόμενα με τις πατάτες που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα ζάχαρης ίδιας συνολικής συγκέντρωσης 62% β/β . Το ωσμωτικό διάλυμα του χλωριούχου νατρίου δεν είναι αποτελεσματικό στην αφαίρεση νερού και βάρους ενώ παρουσιάζεται μεγάλη πρόσληψη στερεών . Το μεγαλύτερο πηλίκιο απώλειας νερού /πρόσληψης στερεών παρουσιάζει το διάλυμα ζαχαρόζης Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προκαλείται συρρίκνωση της πατάτας που συσχετίζεται ισχυρά με την απώλεια νερού και βάρους .

Από τον έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων προέκυψε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση της πατάτας έχει αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης και της παραμόρφωσης θραύσης καθώς και τα δυο μεγέθη συσχετίζονται θετικά με

την απώλεια νερού και βάρους και αρνητικά με την μείωση της υγρασίας. Από την δοκιμή συμπίεσης –χαλάρωσης προέκυψε ότι ο συντελεστής ελαστικότητας και ο χρόνος χαλάρωσης της νωπής πατάτας μειώνονται με την ωσμωτική αφυδάτωση . Η μείωση είναι γρήγορη κατά την αφαίρεση της υγρασίας στα αρχικά στάδια της διεργασίας ενώ μετά από κάποιο επίπεδο υγρασίας της πατάτας που δεν είναι κοινό σε όλα τα ωσμωτικά διαλύματα η επί πλέον αφαίρεση υγρασίας δεν προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα και αυτό οφείλεται στην διαφορετική σύσταση των πατατών που έχουν αφυδατωθεί στα διαφορετικά ωσμωτικά διαλύματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.7
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	σελ.8
2.1. Οσμωτική αφυδάτωση	σελ.8
2.1.1. Γενικά.....	σελ.8
2.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την οσμωτική αφυδάτωση.....	σελ.9
2.1.2.1. Είδος προϊόντος προς αφυδάτωση.....	σελ.9
2.1.2.2.1. Είδος – Σύσταση οσμωτικο διαλύματος.....	σελ.9
2.1.2.2.2. Συγκέντρωση οσμωτικού διαλύματος.....	σελ.11
2.1.2.3. Θερμοκρασία διαδικασίας.....	σελ.12
2.1.2.4. Επαφή των δύο φάσεων.....	σελ.12
2.1.2.4.1. Αναλογία τροφίμου/διαλύματος	σελ.12
2.1.2.4.2. Κίνηση διαλύματος.....	σελ.13
2.1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα οσμωτικής αφυδάτωσης	σελ.13
2.2. Μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων	σελ.15
2.2.1 Γενικά	σελ.15
2.2.2 Τάση συμπίεσης(stress) και παραμόρφωση(strain).....	σελ.15
2.2.3.Ελαστικότητα	σελ.16
2.2.4 Ιξωδοελαστικότητα.....	σελ.16
2.2.5.Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων στερεών	σελ.17
2.2.5.1 Δοκιμή Συμπίεσης	σελ.17
2.2.5.2 Δοκιμή συμπίεσης – Χαλάρωσης(stress-relaxation)	σελ.18
2.2.6 Ιξωδοελαστικές ιδιότητες φρούτων και λαχανικών.....	σελ.19
2.2.6.1 Δομή Φρούτων και Λαχανικών	σελ.19

2.2.6.2 Δομή και μηχανικές ιδιότητες.....σελ.21	σελ.21
2.2.6.3 Ωσμωτική αφυδάτωση και μηχανικές ιδιότητες.....σελ.23	σελ.23
3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	σελ.25
Πορεία εργασίας	σελ 26
4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣσελ.22	σελ.22
4.1.Υλικάσελ.27	σελ.27
4.2. Ωσμωτική αφυδάτωση.....σελ.27	σελ.27
4.3.Αναλύσεις - Συσκευασία.....σελ.28	σελ.28
4.4. Μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση	σελ.29
4.5. Μετρήσεις Μηχανικών Ιδιοτήτων με το INSTRON	σελ.30
4.5.1. Δοκιμή Συμπίεσης 25%	σελ.30
4.5.2. Δοκιμή Συμπίεσης –Χαλάρωσης.....σελ.32	σελ.32
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗσελ.35	σελ.35
A.ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗσελ.35	σελ.35
5.2 % Υγρασία.....σελ 35	σελ 35
5.2. % Μείωση βάρους.....σελ.38	σελ.38
5.3. % Απώλεια νερού.....σελ.48	σελ.48
5.4.%Πρόσληψη στερεών.....σελ.45	σελ.45
5.5.Απώλεια νερού/ πρόσληψη στερεών(WL/SG)	σελ.48
B .ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ. σελ52	σελ52

Πίνακας 1. Συσχέτιση των παραμέτρων της μεταφοράς μάζας και των μηχανικών ιδιοτήτων	σελ 52
Πίνακας 2. Συσχέτιση μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων	σελ.53
5.6. Βαθμός Συρρίκνωσης	σελ.54
5.7. Δύναμη θραύσης (failure stress)	σελ.57
5.8. Παραμόρφωση θραύσης (failure strain).....	σελ.61
5.9. Συντελεστής ελαστικότητας (Young modulus of elasticity).....	σελ.65
5.10. Χρόνος χαλάρωσης.....	σελ.70
5.11. Αρχική / Τελική δύναμη	σελ.74
5.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	σελ.78
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ 82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	σελ 86
A. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	σελ 86
B. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης μηχανικών ιδιοτήτων	σελ 96
Γ .Πίνακες τιμών μεταφοράς μάζας.....	σελ 102
Δ. Πίνακες τιμών μηχανικών ιδιοτήτων	σελ 105
Υπολογισμός μοριακής συγκέντρωσης διαλυμάτων	σελ 113

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

αφυδάτωση θεωρείται μια επεξεργασία ιδιαίτερα χρήσιμη στην βιομηχανία τροφίμων. Βρίσκει εφαρμογή είτε ως αυτόνομη επεξεργασία είτε ως στάδιο προεπεξεργασίας σε εναλλακτικές επεξεργασίες οδηγώντας σε μια μεγάλη ποικιλία τελικών προϊόντων. Παρά τα κοινώς αποδεκτά πλεονεκτήματα και τη μεγάλη έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε αυτό το τομέα, μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές της ωσμωτικής επεξεργασίας εμποδίζονται από θεμελιώδη ζητήματα τα οποία πρέπει να λυθούν. Ορισμένα από αυτά είναι ο ικανοποιητικότερος έλεγχος της επεξεργασίας, φιλικότερες προς το περιβάλλον λύσεις διαχείρισης και μικροβιολογική αξιολόγηση της επεξεργασίας. (Oliveira et al., 1999)

Οι επεξεργασίες αφυδάτωσης οδηγούν σε αλλαγές στις χημικές ιδιότητες των υλικών και σε μερικές φυσικές ιδιότητες όπως το χρώμα ,η πυκνότητα το πορώδες και οι μηχανικές ιδιότητες Οι αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες είναι σημαντικές επειδή σχετίζονται με την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (Mayor et al 2007)

Οι μηχανικές ιδιότητες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για να περιγράψουν τις αλλαγές στην υφή των τροφίμων, και ιδιαίτερα των φρούτων και των λαχανικών κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση τους. Έχει διαπιστωθεί ότι η ανθρώπινη αίσθηση της αντίληψης της υφής ενός προϊόντος ίσως χρησιμοποιεί μηχανική φόρτιση (μηχανισμούς) σε διάφορες μορφές όπως το δάγκωμα και η μάσηση Η μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των τροφίμων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην περιγραφή των ιδιοτήτων της υφής. (Solomon and Jindal, 2002)

Η υφή είναι ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που είναι κρίσιμο για τον καθορισμό της αποδεκτικότητας των νωπών και επεξεργασμένων φρούτων και λαχανικών, γι'αυτό είναι πρωταρχικής σημασίας στην ανάπτυξη διαφόρων προϊόντων. (Alzamora et al.,2000) Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση του χρόνου, της σύστασης του διαλύματος στην ωσμωτική αφυδάτωση κυλίνδρων πατάτας. καθώς οι μηχανικές ιδιότητες των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων στο Instron.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Οσμωτική αφυδάτωση

2.1.1. Γενικά

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι επεξεργασία απομάκρυνσης νερού κατά την οποία τα τρόφιμα με κυτταρική οργάνωση (όπως φρούτα ή λαχανικά) τοποθετούνται σε κατάλληλα υπερτονικά διαλύματα όπως διαλύματα σακχάρων, αλάτων ή ακόμα και μειγμάτων σακχάρων/αλάτων (Lenart and Flink, 1984; Oliveira et al., 1999).

Η ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται με ταυτόχρονη διάχυση του νερού που περιέχεται στο φυτικό ιστό και της διαλυμένης ουσίας (ζάχαρο ή αλάτι) που περιέχεται στο ωσμωτικό διάλυμα και προς τις δύο κατευθύνσεις μέσω της ημιπερατής κυτταρικής μεμβράνης (Lenart and Flink, 1984; Nunak and Sleinnig, 2007). Η ενεργότητα του νερού του οσμωτικού διαλύματος (a_w) είναι μικρότερη από αυτή του τροφίμου, ή η οσμωτική πίεση του διαλύματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του τροφίμου. Έτσι η διαλυμένη ουσία εισέρχεται από το διάλυμα στο εσωτερικό του τροφίμου και αντίστοιχα νερό από το τρόφιμο εξέρχεται προς το διάλυμα. Ο ρυθμός εξόδου του νερού από το τρόφιμο είναι συνήθως σημαντικά μεγαλύτερος από τον ρυθμό διάχυσης της διαλυμένης ουσίας προς αυτό και έτσι το τελικό προϊόν ενώ έχει αφυδατωθεί σημαντικά, έχει πολύ μικρή απορρόφηση διαλυμένης ουσίας (Mayor et al., 2004).

Το βασικό αντικείμενο στην αφυδάτωση των τροφίμων είναι η απομάκρυνση νερού να φτάσει σε τέτοιο σημείο όπου η μικροβιακή προσβολή και οι ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις να ελαχιστοποιηθούν. Πολλές φορές το οσμωτικά αφυδατωμένο τρόφιμο δεν είναι μικροβιολογικά σταθερό και έτσι χρησιμοποιούνται επιπλέον διαδικασίες συντήρησης όπως πχ η ψύξη ή η ξήρανση προκειμένου το τρόφιμο να συντηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (Reza et al., 2009) .

2.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την οσμωτική αφυδάτωση

2.1.2.1. Είδος προϊόντος προς αφυδάτωση

Το είδος, η ποικιλία και η ωριμότητα του προϊόντος προς αφυδάτωση έχουν σημαντική επίδραση στην κυτταρική δομή του επηρεάζοντας την δομή της κυτταρικής μεμβράνης, την περιεκτικότητά του σε διαλυμένες ουσίες, την συνεκτικότητα των ιστών του, τον παγιδευμένο αέρα κ.τ.λ. Όλες αυτές οι δομικές διαφορές επηρεάζουν την μάζα του νερού και της διαλυμένης ουσίας που μεταφέρονται αντίστοιχα στο διάλυμα και στο προϊόν της αφυδάτωσης (Mayor et al., 2007). Η θέση στο εσωτερικό του τροφίμου από την οποία προέρχονται οι ιστοί επηρεάζουν την οσμωτική αφυδάτωση καθώς έχει βρεθεί σε φρούτα της ίδιας της ίδιας ποικιλίας η προέλευση των ιστών από το εξωτερικό παρέγχυμα δίνει μεγαλύτερο βαθμό αφυδάτωσης σε σύγκριση με τους ιστούς από το εσωτερικό (Vincent, 1989)

Το σχήμα και το μέγεθος παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ανταλλαγή μάζας. Μέχρι έναν βαθμό, δείγματα με μεγάλη μερική ειδική επιφάνεια (όπως πχ δαχτυλίδια) έχουν μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη σακχάρων σε σχέση με δείγματα με μικρότερη ειδική επιφάνεια (φέτες, στικς κτλ)(Oliveira et al, 1999; Lericci et al, 1985).

2.1.2.2.1. Είδος – Σύσταση οσμωτικού διαλύματος

Η επιλογή κατάλληλου οσμωτικού διαλύματος και συγκέντρωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συγκεκριμένα από τις οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου, την ικανότητα διάλυσης του οσμωτικού διαλύματος, τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, την ικανότητα σταθεροποίησης του και το κόστος. Τα δυο κοινά διαλύματα που χρησιμοποιούνται είναι η ζάχαρη (κυρίως για φρούτα) και το αλάτι (για λαχανικά, ψάρια, τυρί ,κρέας) (Sereno et al.,2000).

Τα δύο αυτά διαλύματα, μόνα τους ή σε συνδυασμό, έχουν χρησιμοποιηθεί ως υπέρτονα διαλύματα στην οσμωτική αφυδάτωση. Τα διαλύματα άλατος και σακχάρων φαίνεται ότι είναι οι καλύτερες επιλογές λόγω της δραστητικότητάς

τους, της ευκολίας παρασκευής και χρήσης τους και της γεύσης τους. (Gonzalez et al.,1993).

Τα σάκχαρα τα οποία χρησιμοποιούνται ως μέσα οσμωτικής αφυδάτωσης είναι η φρουκτόζη, η μαλτόζη, η ζαχαρόζη, η ισογλυκόζη, η γλυκόζη ή μείγματα αυτών. Κατά της διαδικασία της οσμωτικής αφυδάτωσης προτιμούνται τα διαλύματα των ουσιών αυτών σε σχέση με την στερεή κρυσταλλική μορφή τους διότι η α) ανάμειξη των σακχάρων σε κρυσταλλική μορφή με το τρόφιμο είναι δύσκολη διαδικασία β) κατά την διάρκεια της αφυδάτωσης τα σάκχαρα έρχονται σε επαφή με το νερό του τροφίμου και ουσιαστικά μετατρέπονται σε διάλυμα, οπότε είναι πιο πρακτικό να βρίσκονται από την αρχή της διαδικασίας σε μορφή διαλύματος και γ) τα διαλύματα είναι πιο εύκολα στην χρήση τους σε σχέση με την κρυσταλλική μορφή της ουσίας, καθώς το κόστος απομάκρυνσης του νερού από την ουσία είναι μεγάλο ,και μεγάλες ποσότητες της δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν (Pointing, 1973).

Τα διαλύματα NaCl χρησιμοποιούνται κυρίως για την αφυδάτωση των λαχανικών και όχι των φρούτων λόγω της αλατώδους γεύσης που προσδίδουν στο τρόφιμο. Μια καλή λύση είναι η χρήση διαλύματος ζαχαρόζης 45% το οποίο περιέχει 15%NaCl (Eren et al.,2005).

Υπάρχει μία αξιοσημείωτη διαφορά στον τρόπο δράσης των σακχάρων και του άλατος στον ιστό της ουσίας που προορίζεται για αφυδάτωση. Ενώ η σαχαρόζη συσσωρεύεται σε ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση του επιφανειακού ιστού του τροφίμου, το αλάτι διεισδύει σε πολύ μεγαλύτερο βάθος (Gonzalez et al.,1993). Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μοριακό βάρος του αλατιού σε σχέση με τη ζάχαρη (Sereno et al.,2000).

Η παρουσία άλατος σε διάλυμα σακχάρου μπορεί να εμποδίσει τον σχηματισμό της επιφανειακής κρούστας που δημιουργεί το σακχαρούχο διάλυμα προωθώντας έτσι την μεγαλύτερη αποβολή νερού από το τρόφιμο. Επίσης αυξάνοντας την συγκέντρωση του άλατος σε διάλυμα σακχάρου/

άλατος με σταθερή συγκέντρωση βάρους οδηγούμαστε σε διαλύματα με αυξημένη οσμωτική ικανότητα.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην οσμωτική αφυδάτωση παίζει ο όγκος των μορίων του διαλύματος ο οποίος επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό απώλειας νερού/ πρόσληψης στερεών. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των μορίων τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος της διείσδυσης τους (Eren et al., 2005).

2.1.2.2.2. Συγκέντρωση οσμωτικού διαλύματος

Η οσμωτική πίεση είναι ευθέως ανάλογη της μοριακής συγκεντρώσεως (Dziedzic & Keavnsley, 1978). Η οσμωτική πίεση δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$P=nRT/V$$

όπου P = οσμωτική πίεση

V = όγκος διαλύματος

n = ο αριθμός των moles της διαλυμένης ουσίας σε όγκο διαλύματος V

R = η παγκόσμια σταθερά των αερίων

T = η θερμοκρασία του διαλύματος σε βαθμούς K .

Η αυξημένη συγκέντρωση του οσμωτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απώλειας νερού του τροφίμου και την αύξηση της πρόσληψης σακχάρων από αυτό. Παρατηρήθηκε ότι η απομάκρυνση του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την πρόσληψη σακχάρων από το τρόφιμο, άρα η αυξημένη συγκέντρωση του οσμωτικού διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απώλειας νερού από το τρόφιμο (Chiralt et al., 2000).

Η αναλογία απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών εξαρτάται και από την συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας και από το μοριακό της βάρος. Χρησιμοποιώντας υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμάτων (60-70% κ.β), θα παραχθεί ένα προϊόν που έχει υποστεί σημαντική μείωση βάρους και μικρή πρόσληψη διαλυτών ουσιών. Ουσιαστικά όσο υψηλότερη είναι η αναλογία

απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών τόσο καλύτερα αφυδατώνεται το τελικό προϊόν (Sereno et al., 2000).

Αντίθετα, σε διαλύματα χαμηλών συγκεντρώσεων παρατηρείται μεγάλη πρόσληψη διαλυτών ουσιών από το προϊόν. Υπάρχει μια καλή ένδειξη ότι το μοριακό βάρος των διαλυμένων ουσιών έχει σημαντική επίδραση στην απώλεια νερού και στην πρόσληψη των στερεών. Συγκεκριμένα υπάρχει μια ισχυρή γραμμική σχέση μεταξύ του μεγέθους των διαλυτών στερεών και της πρόσληψης των στερεών (Oliveira., 2005).

2.1.2.3. Θερμοκρασία διαδικασίας

Είναι γνωστό ότι η διάχυση είναι ένα φαινόμενο που εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία. Υψηλότερες θερμοκρασίες φαίνεται ότι ευνοούν την πιο γρήγορη απώλεια νερού μέσω του λιωσίματος και της πλαστικοποίησης των κυτταρικών μεμβρανών, επιταχύνουν την διάχυση του νερού στο τρόφιμο, και επειδή χαμηλώνουν το ιξώδες του οσμωτικού διαλύματος αυξάνεται η μεταφορά νερού στην επιφάνεια του τροφίμου. Από την άλλη πλευρά, ο ρυθμός μεταφοράς μάζας αυξάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και όταν το προϊόν έχει συγκεκριμένη επιφάνεια.

2.1.2.4. Επαφή των δύο φάσεων

Η επαφή των δύο φάσεων (διάλυμα και τρόφιμο) εξαρτάται ουσιαστικά από τους παρακάτω βασικούς παράγοντες:

1. Την αναλογία τροφίμου / διαλύματος
2. Την κίνηση του διαλύματος στην επιφάνεια του τροφίμου

2.1.2.4.1. Αναλογία τροφίμου/διαλύματος

Η αναλογία τροφίμου διαλύματος έχει αρκετή σημασία στον ρυθμό της οσμωτικής αφυδάτωσης. Όσο η αναλογία αυτή μειώνεται τόσο αυξάνεται η μεταφορά μάζας. Μια χαμηλή αναλογία τροφίμου διαλύματος (<1/30) χρησιμοποιείται συνήθως για να αποφευχθούν φαινόμενα αραίωσης κατά την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο.

2.1.2.4.2. Κίνηση διαλύματος

Σε διαλύματα με χαμηλή συγκέντρωση, η ανάδευση η οποία επιταχύνει την κυκλοφορία του διαλύματος φαίνεται ότι δεν έχει ιδιαίτερη επίδραση στην απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο και την πρόσληψη της διαλυμένης ουσίας. Όταν όμως έχουμε αύξηση της συγκέντρωσης η ανάδευση φαίνεται να βελτιώνει αυτή τη διαδικασία (Hawkes and Flink, 1978). Από την άλλη μεριά απαιτούνται μεγάλοι αριθμοί Reynolds για να εξασφαλίσουμε την αμελητέα αντίσταση στην μεταφορά μάζας στην επιφάνεια των προϊόντων. Επίσης η ανάδευση του οσμωτικού διαλύματος έχει θετική επίδραση στην επίτευξη σταθερής θερμοκρασίας σε όλη την μάζα του τροφίμου και επίσης αποφεύγεται η επίδραση του σακχάρου σε μικρές περιοχές της επιφάνειας των τροφίμων (Pointing et al, 1966; Vial et al, 1991).

2.1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα οσμωτικής αφυδάτωσης

Η οσμωτική αφυδάτωση είναι μία από τις πιο αξιοσημείωτες μεθόδους αφυδάτωσης τροφίμων για πολλούς λόγους, μερικοί από τους οποίους είναι οι εξής:

Τα προϊόντα της οσμωτικής αφυδάτωσης διατηρούν τα οργανοληπτικά τους συστατικά (σχήμα, χρώμα, άρωμα) σε ικανοποιητικό βαθμό.

Η γεύση των οσμωτικά αφυδατωμένων τροφίμων είναι διαφορετική σε σχέση με την γεύση των νωπών διότι τα πρώτα έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων και μικρότερη συγκέντρωση οξέων. Αυτή η αυξημένη αναλογία σακχάρου/οξέως προδίδει στο οσμωτικά αφυδατωμένο τρόφιμο καλύτερο γευστικό πηλίκιο.

Τα σάκχαρα είναι γνωστό ότι αναστέλλουν την δράση της πολυφαινολοξειδάσης η οποία είναι καταλύτης της αντίδρασης του οξειδωτικού μαυρίσματος των τροφίμων. Έτσι, τα προϊόντα της οσμωτικής αφυδάτωσης τα οποία έχουν αυξημένη συγκέντρωση σακχάρων είναι υψηλής ποιότητας.

Λόγω της συνεχούς εμβάπτισης του τροφίμου στο οσμωτικό διάλυμα, η οσμωτική αφυδάτωση είναι διαδικασία κατά την οποία το τρόφιμο δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το οξυγόνο και έτσι αποφεύγουμε την

χρήση του διοξειδίου του θείου το οποίο χρησιμοποιείται για την αποφυγή οξειδωτικού και ενζυμικού μαυρίσματος του τροφίμου.

Επειδή η οσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες ελαχιστοποιείται η αλλοίωση του χρώματος και η υποβάθμιση του αρώματος των τροφίμων (Pointing et al, 1966).

Λόγω της μείωσης του όγκου και του βάρους των τροφίμων έχουμε μείωση του κόστους συσκευασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης των αφυδατωμένων τροφίμων.

Η μέθοδος έχει και τα εξής μειονεκτήματα:

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας, παράλληλα με την αποβολή νερού έχουμε και απώλεια κάποιων υδατοδιαλυτών συστατικών του τροφίμου όπως για παράδειγμα το ασκορβικό οξύ. Έτσι έχουμε θρεπτική υποβάθμιση του παραγόμενου τροφίμου.

Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί απώλεια μέρους αρωματικών και χρωστικών ουσιών, οξέων, πρωτεϊνών αλλά και σάρκας και σπόρων του τροφίμου (Rosa et al, 2000).

Όταν το τρόφιμο αφυδατωθεί σε μεγάλο βαθμό σε οσμωτικό διάλυμα σακχάρου τότε είναι πιθανό να παρατηρηθούν φαινόμενα οξειδωσης κατά την μακροχρόνια αποθήκευσή του (Pointing et al, 1966).

Παρά τα κοινώς αποδεκτά πλεονεκτήματα της και τις πολλές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω σε αυτή τη διεργασία, οι μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές της οσμωτικής αφυδάτωσης παρεμποδίζονται από θεμελιώδη ζητήματα τα οποία πρέπει να επιλυθούν. Τέτοια ζητήματα περιλαμβάνουν τον ικανοποιητικό έλεγχο της επεξεργασίας, διαχείριση φιλική προς το περιβάλλον και την μικροβιολογική της αξιολόγηση (Oliveira et al., 1999).

2.2. Μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων

2.2.1 Γενικά

Μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού ονομάζονται εκείνες οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά του υλικού, όταν αυτό βρίσκεται υπό την επίδραση δύναμης ή δυνάμεων. Ως μηχανικές ιδιότητες μπορεί να θεωρηθούν η συμπεριφορά που δείχνει ένα υλικό όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση μίας δύναμης ή όταν ρέει από την επίδραση μίας δύναμης. Αυτές οι συγκεκριμένες ιδιότητες ονομάζονται και ρεολογικές όταν μάλιστα λαμβάνεται υπ' όψιν και ο χρόνος που επιδρά η δύναμη πάνω στο υλικό.

Τρεις είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τη ρεολογική συμπεριφορά ενός υλικού, α) Η δύναμη που επιδρά στο υλικό, β) η παραμόρφωση που υφίσταται το υλικό και γ) ο χρόνος επίδρασης της δύναμης. (Εργαστηριακές σημειώσεις επεξεργασίας τροφίμων II)

2.2.2 Τάση συμπίεσης(stress) και παραμόρφωση(strain)

Ως τάση συμπίεσης ή έκτασης (stress) μπορεί να οριστεί ή απόκριση ή εσωτερική αντίδραση ενός υλικού στις εφαρμοζόμενες σ' αυτό δυνάμεις. Η ένταση της αντίδρασης εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας στην οποία δρουν οι δυνάμεις και εκφράζεται σαν δύναμη ανά μονάδα εμβαδού.(Rao....)

Όταν οι δυνάμεις εφαρμόζονται κάθετα προς την επιφάνεια του υλικού το υλικό είτε συμπιέζεται είτε εκτείνεται. Έτσι η δύναμη που εξασκείται ανά μονάδα επιφάνειας ονομάζεται τάση συμπίεσης ή έκτασης $\sigma = F/A$ και μετριέται σε Pascal (Εργαστηριακές σημειώσεις επεξεργασίας τροφίμων II)

Παραμόρφωση (Strain) είναι αλλαγή στις διαστάσεις ή στο σχήμα ενός σώματος σε σχέση με τις εφαρμοζόμενες σ' αυτό δυνάμεις. Είναι αδιάστατη παράμετρος (αναφερόμενη σαν σχέση ή %ποσοστό) και εκφράζεται σαν αλλαγή σε σχέση με το αρχικές διαστάσεις ή σχήμα (A.S.SzecziesniaK 1983)

Η αλλαγή στο μήκος του υλικού κατά Δl αν l είναι το αρχικό μήκος του, ονομάζεται παραμόρφωση. Συμβολίζεται με το γράμμα ϵ και ισούται με $\Delta l/l$

οπότε είναι αδιάστατος αριθμός. (Εργαστηριακές σημειώσεις επεξεργασίας τροφίμων II)

Το πραγματικό εμβαδόν A του παραμορφωμένου υλικού συνδέεται με το αρχικό εμβαδόν A_0 με την σχέση $A(1+\varepsilon)=A_0$ (Barley 1983)

2.2.3.Ελαστικότητα

Ελαστικότητα είναι ο τύπος συμπεριφοράς κατά την οποία ένα παραμορφωμένο σώμα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση όταν η τάση που προκαλεί την παραμόρφωση απομακρυνθεί/αποσυρθεί. Έτσι η ύπαρξη της τάσης είναι απαραίτητη για να προκαλέσει και να διατηρήσει την παραμόρφωση. Η απλούστερη συμπεριφορά λαμβάνεται όταν η τάση είναι ανάλογη με την παραμόρφωση. Αυτή η απλή συσχέτιση είναι ο νόμος του Χούκ (Hooke's law). (Rao ,1992)

Ο συντελεστής ελαστικότητας του Young(Young's modulus of elasticity) είναι το πηλίκο της τάσης προς την παραμόρφωση όταν ένα στερεό υλικό συμπιέζεται ή εκτείνεται.

Περιγράφεται με την εξίσωση $E = \frac{stress}{strain} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$

Όπου E είναι ο συντελεστής ελαστικότητας του Young (Pa)

$F/A=\sigma$ είναι η τάση συμπίεσης ή έκτασης

$\Delta L/L=\varepsilon$ είναι η παραμόρφωση (Bourne 2002)

2.2.4 Ιξωδοελαστικότητα

Ιξωδοελαστικά καλούνται τα υλικά που εμφανίζουν συμπεριφορά ελαστικού στερεού και ιξώδους υγρού. Διαφέρουν από τα πλαστικά στο ότι εμφανίζουν και τις δύο ιδιότητες ταυτόχρονα. Στα ιξωδοελαστικά υλικά μετά την απομάκρυνση του φορτίου (δύναμης) παραμένει μία μόνιμη παραμόρφωση. Εάν η παραμόρφωση αυτή συνδέεται γραμμικά με το φορτίο που την προκάλεσε τότε το υλικό εμφανίζει γραμμική ιξωδοελαστικότητα.

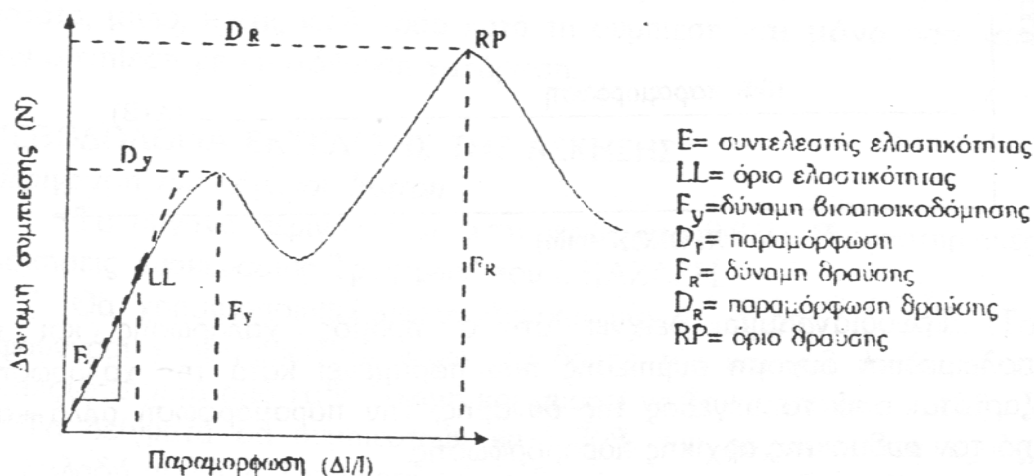
Οι ιδιότητες των ιξωδοελαστικών υλικών εξαρτώνται από τον χρόνο και έτσι θα είναι αποτέλεσμα του χρόνου που η δύναμη ή η παραμόρφωση εφαρμόζεται (ρεολογία\Ch5%20Rheologia%)

Τα ιξωδοελαστικά υλικά μπορεί να έχουν γραμμική ή όχι συμπεριφορά σε οποιαδήποτε παραμόρφωση ή να υπάρχει περιορισμένη περιοχή παραμόρφωσης συνήθως πολύ μικρή στην οποία εμφανίζεται γραμμικότητα (Rao.1992)

2.2.5. Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων στερεών

2.2.5.1 Δοκιμή Συμπίεσης

Η δοκιμή της συμπίεσης των υλικών γίνεται συνήθως με το όργανο Universal Testing Machine της εταιρίας Instron. Το προς εξέταση υλικό τοποθετείται μεταξύ δύο επίπεδων πλευρών από τις οποίες η μία είναι στατική και η άλλη μπορεί να κινηθεί με προκαθορισμένη ταχύτητα για να συμπιέσει το υλικό. Το δείγμα παραμορφώνεται σε συγκεκριμένο βαθμό ανάλογα με τις προκαθορισμένες συνθήκες. Με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προκύπτει η καμπύλη δύναμης συμπίεσης – παραμόρφωσης του τροφίμου από την οποία μπορούν να μετρηθούν διάφορες μηχανικές παράμετροι.



Σχήμα 2.1 Τυπική καμπύλη δύναμης συμπίεσης – παραμόρφωσης

Η κλίση της αρχικής ευθείας γραμμής λαμβάνεται ως ο συντελεστής ελαστικότητας. Η καμπύλη επίσης παρουσιάζει δύο κορυφές. Η πρώτη που υποδηλώνει την βιοαποικοδόμηση , δηλαδή την καταστροφή ορισμένων δομικών στοιχείων της υφής του υπό εξέταση υλικού και την δεύτερη καμπύλη που υποδηλώνει την θραύση , δηλαδή την πλήρη κατάρρευση του δομικού ιστού της υφής του υλικού , και αποτελεί το μέτρο της αντοχής του υλικού.

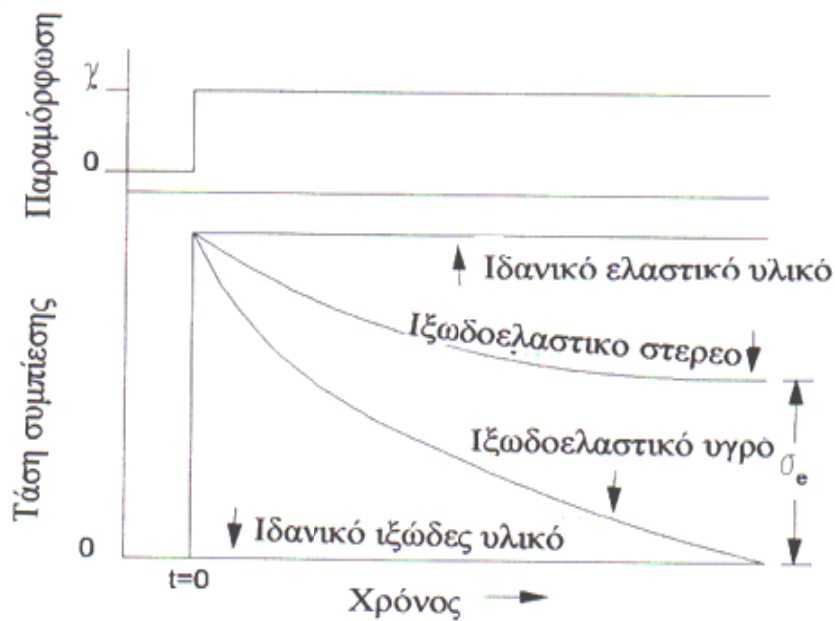
(Σημειώσεις επεξεργασίας II.,A.Szczesniac 1983)

2.2.5.2 Δοκιμή συμπίεσης – Χαλάρωσης(stress-relaxation)

Στη ρεολογία, συχνά χρησιμοποιείται η ημιστατική δοκιμή (step relaxation) της συμπίεσης – χαλάρωσης προκειμένου να διερευνηθεί η ιξωδοελαστική συμπεριφορά των τροφίμων και να αποδοθεί μία εικόνα των μηχανικών τους ιδιοτήτων.(Rao and Steffe)

.Στη δοκιμή της χαλάρωσης κατά την συμπίεση εφαρμόζεται στο δείγμα ορισμένη δύναμη συμπίεσης που το παραμορφώνει σε κάποιο βαθμό και αυτή η παραμόρφωση μετά διατηρείται σταθερή . Τότε παρατηρείται μία μείωση του μεγέθους της δύναμης που εξασκείται και αυτό οφείλεται στο ότι προκαλείται εσωτερική ροή στη δομή του υλικού , ώστε να υπομένει την πίεση που του εξασκείται όσο γίνεται με τη λιγότερη δυνατή καταπόνηση . Αυτή η ροή επηρεάζεται από το ιξώδες και ο λόγος του ιξώδους προς τον συντελεστή ελαστικότητας χαρακτηρίζεται ως χρόνος χαλάρωσης. Ο ρυθμός χαλάρωσης και η υπολειμματική δύναμη συμπίεσης που παραμένει κατά την χαλάρωση εξαρτάται από το μέγεθος της δύναμης, την παραμόρφωση αλλά και από τον ρυθμό της αρχικής παραμόρφωσης.(Σημειώσεις επεξεργασίας II)

Ο χρόνος χαλάρωσης είναι ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου η εναπομείνασα δύναμη να μειωθεί στο 63% της αρχικής δύναμης που εφαρμόστηκε (.Rao , 1992)



Σχήμα 2.2 Καμπύλες συμπίεσης –χαλάρωσης (Stefee 1996)

Μια ευρεία κλίμακα συμπεριφοράς μπορεί να παρατηρηθεί στις δόκιμες συμπίεσης –χαλάρωσης. Δεν παρατηρείται χαλάρωση στα ιδανικά ελαστικά υλικά, ενώ τα ιδανικά ιξώδη υλικά χαλαρώνουν ακαριαία. Τα ιξωδοελαστικά υλικά χαλαρώνουν σταδιακά με το τελικό σημείο να εξαρτάται από την μοριακή δομή του υλικού που ελέγχεται. Έτσι η τελική δύναμη στα ιξωδοελαστικά στερεά είναι $\sigma > 0$ ενώ στα ιξωδοελαστικά υγρά μπορεί να είναι 0 (Stefee 1996)

2.2.6 Ιξωδοελαστικές ιδιότητες φρούτων και λαχανικών

2.2.6.1 Δομή Φρούτων και Λαχανικών

Τα φυτικά τρόφιμα αποτελούνται από ιστούς οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούνται από πολλούς διαφορετικούς τύπους κυττάρων, καθένα από τα οποία μπορεί να βρίσκεται ιδιαίτερα σε ένα συγκεκριμένο ιστό. Τα κύτταρα μπορεί να είναι χαλαρά ή σφιχτά συνδεδεμένα και να διαθέτουν λεπτότερα ή παχύτερα καθώς και περισσότερο ή λιγότερο ελαστικά τοιχώματα κυτταρίνης και άλλων πολυσακχαριτών κυτταρικά περιεχόμενα διαφέρουν επίσης σε μεγάλο βαθμό σε μεταλλικά και οργανικά συστατικά. (Reeve, 1970).

Τα περισσότερα κύτταρα στο εδώδιμο τμήμα των φρούτων και των λαχανικών είναι τύπου παρέγχυμα και είναι περισσότερο ή λιγότερο σφαιρικά και με λεπτό ή παχύτερο τοίχωμα. Τα γειτονικά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός πηκτινικού στρώματος που καλείται μεσοκυττάρια μεμβράνη(middle lamella). Ο εξωκυτταρικός όγκος περιέχει υγρά και ενδιάμεσους χώρους αέρα τυχαίου μεγέθους και σχήματος, οι οποίοι διαφέρουν σε ποσοστό ως προς τον συνολικό όγκο του ιστού και είναι κοντά στο 0%-2% του συνολικού όγκου του ιστού της πατάτας και στο 25% του συνολικού ιστού του μήλου .

Κάθε κύτταρο είναι ένα κέλυφος γεμάτο με υγρό και περιέχει το κυτταρόπλασμα και έναν πυρήνα. Το μεγαλύτερο μέρος του κυτταρικού υγρού περιέχεται στα χυμοτόπια . Γύρω από το κυτταρόπλασμα είναι η κυτταροπλασματική μεμβράνη, μία λιπιδική διπλοστοιβάδα της οποίας οι ιδιότητες ημιδιαπερατότητας έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στις ιξωδοελαστικές ιδιότητες ολόκληρου του ιστού. Έξω από την κυτταροπλασματική μεμβράνη είναι ένα κυτταρικό τοίχωμα του οποίου οι ιδιότητες επίσης επηρεάζουν σημαντικά τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες του ιστού.

.....Κανονικά, το κύτταρο κρατά το υγρό του με την βοήθεια μίας υδροστατικής πίεσης που καλείται σπαραγή, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από την υγρασία του περιβάλλοντος στο οποίο εκτίθεται ο ιστός. Στην κατάσταση σπαραγής λόγω της επαφής του ζωντανού περιεχομένου του κυττάρου με το κυτταρικό τοίχωμα , ασκούνται δύο ίσες και αντίθετες πιέσεις : μία από το ζωντανό περιεχόμενο του κυττάρου προς το κυτταρικό τοίχωμα , η πίεση σπαραγής, και μία αντίθετή της από το κυτταρικό τοίχωμα προς το ζωντανό περιεχόμενο του κυττάρου, η πίεση τοιχωμάτων , σαν αντίδραση στην πίεση σπαραγής. Ουσιαστικά , η κατάσταση κατά την οποία το κύτταρο ισορροπεί με το περιβάλλον του καθορίζεται από το δυναμικό του νερού. ψ των ενδοκυτταρικών και εξωκυτταρικών διαλυμάτων . Το δυναμικό του νερού είναι το άθροισμα του δυναμικού πίεσης και του ωσμωτικού δυναμικού του M είναι τα mol κυττάρου.

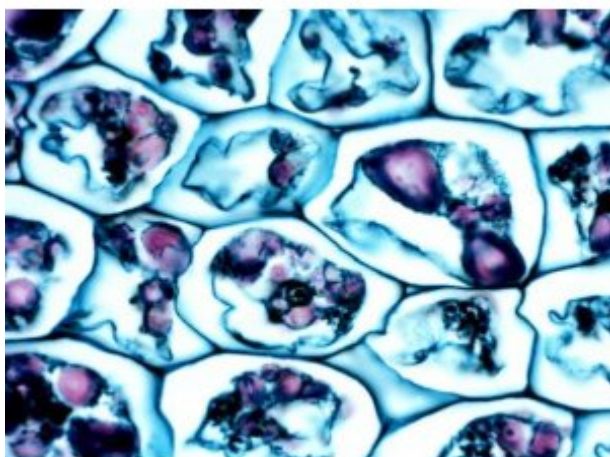
$$\psi = P + \pi$$

όπου P είναι η πίεση και π είναι η ωσμωτική πίεση των διαλυμάτων του κυττάρου. Που δίνεται από τον τύπο:

$\pi = M \cdot R \cdot T$ όπου M είναι τα mol των ωσμωτικά ενεργών διαλυμένων ουσιών /όγκο, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία

Η κυταροπλασματική μεμβράνη είναι διαπερατή στο νερό, λιγότερο διαπερατή σε διαλυτές ουσίες, και αδιαπέραστη σε ορισμένες διαλυτές ουσίες. Αυτές οι διαφορετικές ιδιότητες διαπερατότητας επιτρέπουν στο κύτταρο να διατηρεί μία υψηλή εσωτερική συγκέντρωση σε διαλυτές ουσίες η οποία επιτρέπει την διατήρηση της σπαργής (Rao 1992

Ο ιστός της πατάτας είναι ένα σύστημα σφαιρικών κυττάρων σφιχτά συνδεδεμένων μεταξύ τους με λιγότερο από 2% χώρους μεταξύ τους και με μεγάλο αριθμό αμυλοκόκκων.



Σχήμα 2.3.Κύτταρο (παρέγχυμα) της πατάτας με εμφανής τους κόκκους αμύλου με μοβ χρώμα.(Khan and Vincent,1992)

2.2.6.2 Δομή και μηχανικές ιδιότητες

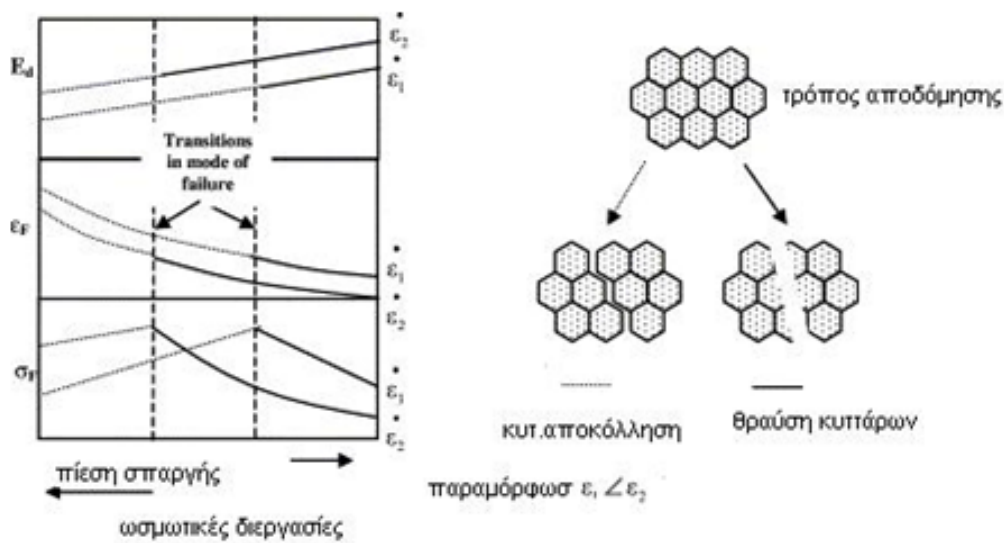
Διάφοροι παράγοντες συντελούν στην διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων των φυτικών ιστών. Η σπαργή του κυττάρου (η οποία παίζει και τον καθοριστικότερο ρόλο), η δύναμη συγκόλλησης των κυττάρων μέσω της

μεσοκυττάριας παχιάς μεμβράνης, η αντίσταση του κυτταρικού τοιχώματος σε δυνάμεις συμπίεσης ή έκτασης, η πυκνότητα του περιεχομένου των κυττάρων που ορίζει τους ελεύθερους χώρους που περιέχουν αέρα ή υγρό , και μερικοί άλλοι παράγοντες όπως το μέγεθος και το σχήμα του προϊόντος , η θερμοκρασία και ο ρυθμός παραμόρφωσης.

Η γενική τάση της μηχανικής ανταπόκρισης των φυτικών ιστών δείχνει μία αρχική γραμμική σχέση συμπίεσης-παραμόρφωσης ή αλλιώς, μία ελαστική ανταπόκριση μέχρι ένα κρίσιμο σημείο παραμόρφωσης. Η κλίση της ευθείας γραμμής στη μικρή παραμόρφωση δίνει τον αρχικό συντελεστή ελαστικότητας. Σε μεγαλύτερο βαθμό παραμόρφωσης όμως, σαν συνέπεια της αποδόμησης ή θραύσης του δείγματος, η δύναμη συμπίεσης μειώνεται σε χαρακτηριστικό βαθμό που εξαρτάται κυρίως από την πίεση σπαργής του ιστού και τον τρόπο αποδόμησης κατά την συμπίεση.

Ανάλογα με τις ιδιότητες του δείγματος, κυρίως την σπαργή και την αντίσταση της μεσοκυττάριας παχιάς μεμβράνης , δύο μηχανισμοί αποδόμησης(failure mode) του κυττάρου έχουν σημειωθεί , η κυτταρική αποκόλληση (cell debonding), και η θραύση των κυττάρων (cell rupture) . Σε χαμηλή πίεση σπαργής (όπως σε ένα υπερώριμο ή οσμωτικά αφυδατωμένο φρούτο) η κυτταρική αποκόλληση είναι πιο πιθανό να συμβεί απ'ότι η θραύση του κυττάρου. Η υψηλή πίεση σπαργής αυξάνει την σκληρότητα και ακαμψία του ιστού και ο τρόπος αποδόμησης των κυττάρων είναι η θραύση. Η πίεση σπαργής λοιπόν και ο βαθμός παραμόρφωσης καθορίζουν τον τρόπο αποδόμησης του κυττάρου (Chiralt et al,2000.)

Τρεις τρόποι αποδόμησης έχουν διαπιστωθεί. Η θραύση των κοιταρικών τοιχωμάτων η αποδόμηση μεταξύ των κυττάρων και η χαλάρωση των κυτταρικών από την μεταφορά των υγρών έξω από τα κύτταρα. Το μοντέλο αποδόμησης κυριαρχεί καθορίζεται από τις σχετικές δυνάμεις των δεσμών και των κυτταρικών τοιχωμάτων . από τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και από τον τύπο του υλικού .και την ωριμότητα των ιστών (Lin and Pitt 1985)



Σχήμα 2.4 Επίδραση της σπαργής και του τρόπου αποδόμησης των φυτικών ιστών στις μηχανικές παραμέτρους, κατά την δοκιμή συμπίεσης(Chiralt et al.,2000)

2.2.6.3 Ωσμωτική αφυδάτωση και μηχανικές ιδιότητες

Οι κυριότερες μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, και που επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των φυτικών ιστών είναι η απώλεια σπαργής του κυττάρου, η τροποποίηση της μεσοκυττάριας στρώσης, της αντίστασης του κυτταρικού τοιχώματος, μεταβολή στη συγκέντρωση νερού και διαλυτών ουσιών, στον όγκο των κλασμάτων αέρα και υγρού μέσα στο δείγμα, καθώς επίσης στο σχήμα και το μέγεθος του δείγματος.

Συνεπώς, οι αναμενόμενες μεταβολές που προκαλεί η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης θα είναι η μείωση της σχέσης δύναμης συμπίεσης-παραμόρφωσης, η αύξηση του ιξωδοελαστικού χαρακτήρα και αλλαγές στον τρόπο αποδόμησης του κυττάρου. Η αποκόλληση των κυττάρων θα είναι ο βασικός μηχανισμός αποδόμησης αντί της θραύσης των κυττάρων, με εμφανή αύξηση στην παραμόρφωση και μείωση στην τάση συμπίεσης και στο αρχικό συντελεστή ελαστικότητας (Chiralt et al.,2000).

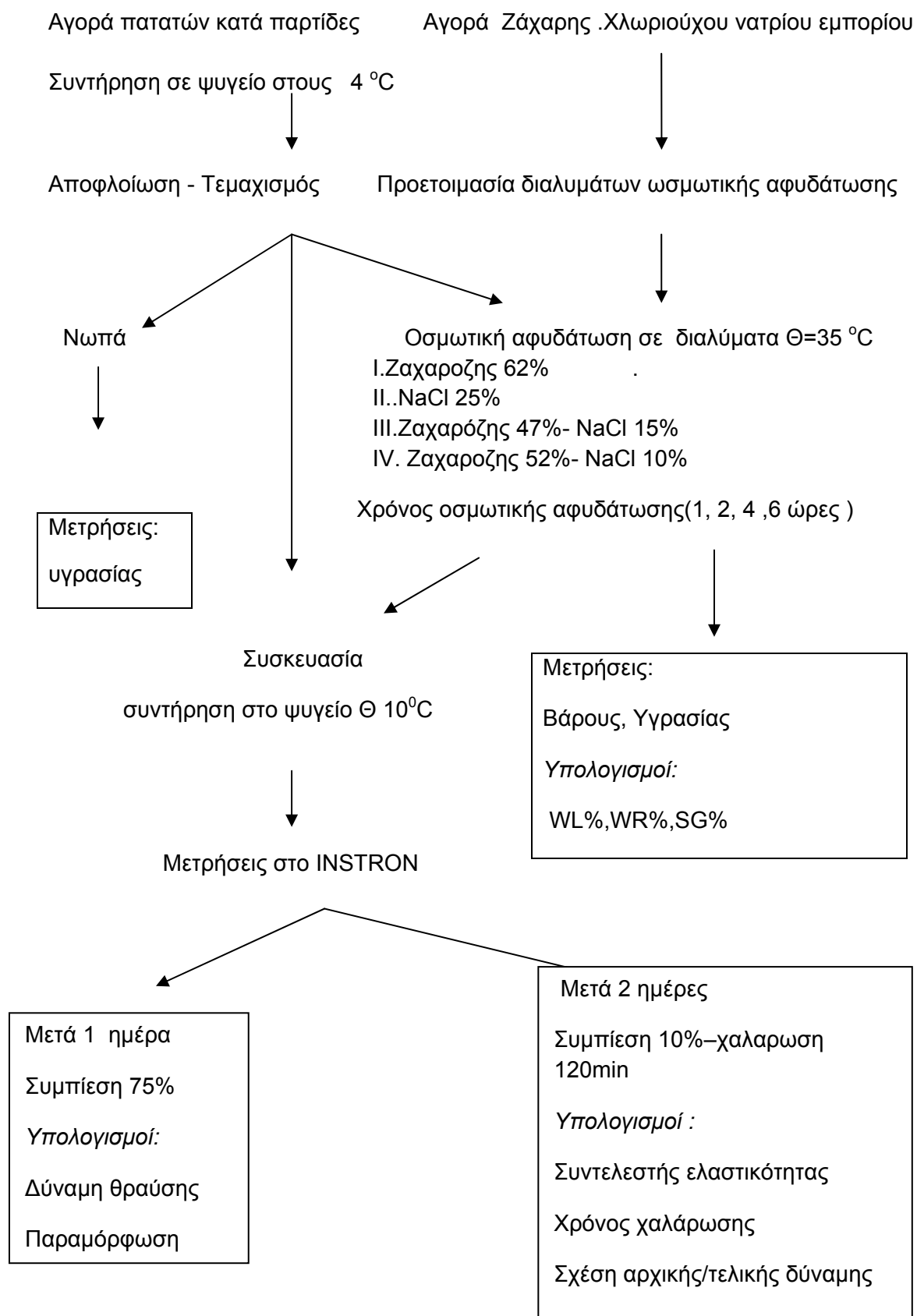
Η ωσμωτική αφυδάτωση βέβαια είναι μία διεργασία αφαίρεσης νερού από τα τρόφιμα και ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πώς τα διάφορα επίπεδα υγρασίας επηρεάζουν τις μηχανικές- ρεολογικές ιδιότητες.(krokida et al)

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στην ωσμωτική αφυδάτωση πατάτας και στις μηχανικές της ιδιότητες

4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



4.1.Υλικά

Η προμήθεια των πατατών, της ζαχαρόζης και του αλατιού γινόταν από το εμπόριο σε παρτίδες. Οι πατάτες που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό να αφυδατωθούν είχαν περίπου το ίδιο μέγεθος και μέχρι την επεξεργασία τους συντηρήθηκαν στο ψυγείο στους 4° C.

4.2. Ωσμωτική αφυδάτωση

- Συσσκευή ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την ωσμωτική αφυδάτωση είναι ένα υδατόλουτρο χωρητικότητας 16 L. Στο υδατόλουτρο είναι προσαρμοσμένο σύστημα συνεχούς κυκλοφορίας και ρύθμισης της θερμοκρασίας του ωσμωτικού διαλύματος.

- .Προετοιμασία δείγματος

Οι πατάτες αποφλοιώθηκαν μηχανικά με μαχαίρι. Με την βοήθεια μεταλλικού κυλίνδρου ανοιχτού στα δύο άκρα και εσωτερικής διαμέτρου 3,5 cm, αφαιρέθηκε από το κέντρο της πατάτας κυλινδρικό τμήμα το οποίο στη συνέχεια τεμαχίστηκε σε ροδέλες πάχους 1 cm. Για τον τεμαχισμό χρησιμοποιήθηκε η συσκευή κοπής αλλαντικών του εργαστηρίου κρέατος. Οι φέτες προζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε καλάθια κατασκευασμένα από ανοξείδωτο μεταλλικό πλέγμα. Κάθε καλάθι ήταν χωρισμένο σε τρεις θέσεις και σε κάθε θέση τοποθετήθηκαν 16 τεμάχια πατάτας βάρους περίπου 500g.

- Προετοιμασία διαλυμάτων ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τα παρακάτω διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης συνολικής συγκέντρωσης 62% w/w προετοιμάστηκαν σε ποσότητες 16 L.

Ζαχαρόζης 62%

Μίγμα χλωριούχου νατρίου 10% - Ζαχαρόζης 52%

Μίγμα χλωριούχου νατρίου 15% - Ζαχαρόζης 47%

Χλωριούχου νατρίου 25%

- Διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τα καλαθάκια εμβαπτίστηκαν στα ωσμωτικά διαλύματα.

Η αναλογία δειγμάτων πατάτας -διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι 1:12

Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 35 ° C για 1,2,4 και 6 ώρες. Αμέσως μετά την ωσμωτική αφυδάτωση τα δείγματα απομακρύνθηκαν από το υδατόλουτρο ξεπλύθηκαν με τρεχούμενο νερό για 10 sec, αφέθηκαν να στραγγίσουν για περίπου 5 min και κατόπιν ζυγίστηκαν

4.3.Αναλύσεις - Συσσκευασία

Για κάθε χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης δείγματα πατάτας πριν (νωπά) και μετά την ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό υγρασίας (εις τριπλούν). Τα υπόλοιπα συσκευάστηκαν αεροστεγώς σε 2 συσκευασίες επί 5 τεμάχια και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για την μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων στο INSTRON ενώ 1 συσκευασία 3 τεμαχίων καταψύχθηκε στο καταψύκτη αέρα του Βιομηχανικού εργαστηρίου και διατηρήθηκε για ένα μήνα στο θάλαμο κατάψυξης σε θερμοκρασία -18 ° C

- Προσδιορισμός Υγρασίας

Η περιεχόμενη υγρασία στα δείγματα πατάτας προσδιορίστηκε με ξήρανση σε φούρνο που λειτουργεί υπό κενό. Σε ξηρά και προζυγισμένα τρυβλία Petri ζυγίστηκε 1 φέτα βάρους περίπου 10 g και κατόπιν τοποθετήθηκε σε φούρνο της 70 για 24h. Μετά την ξήρανση, αφέθηκαν τα τρυβλία σε γυάλινο ξηραντήρα για να κρυώσουν και ζυγίστηκαν ξανά. Η απομένουσα υγρασία υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\text{Υγρασία \%} = \frac{(B_{\text{αρχ}} - B_{\text{τελ}}) \cdot 100}{B_{\text{αρχ}}}$$

όπου: $B_{\text{αρχ}}$: το αρχικό βάρος της πατάτας πριν την ξήρανση

$B_{\text{TEΛ}}$: το βάρος της πατάτας μετά την ξήρανση (Γεωργιάδης 2002)

Τα αποτελέσματα είναι εκφρασμένα ως % περιεχόμενη υγρασία.

4.4. Μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Ο όρος μεταφορά μάζας αναφέρεται την μετακίνηση νερού και διαλυτών ουσιών ανάμεσα στο τρόφιμο και στο διάλυμα ωσμωτικής αφυδάτωσης

% Μείωση του βάρους (Weight Reduction – WR%)

$$WR = \frac{(M_o - M) \cdot 100}{M_o}$$

% Μείωση βάρους:

όπου: M_o : το βάρος του νωπού δείγματος

M : το βάρος του δείγματος μετά την ωσμωτική αφυδάτωση στον αντίστοιχο χρόνο t

M_o : το βάρος του νωπού δείγματος (Vial et al., 1991).

% Απώλεια νερού (Water Loss- WL%)

$$\% \text{ Απώλεια νερού : } WL = \frac{(E_o - E) \cdot 100}{M_o}$$

όπου: E_o : η περιεχόμενη υγρασία του νωπού δείγματος

E : η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος μετά την ωσμωτική αφυδάτωση στον αντίστοιχο χρόνο t

M_o : το βάρος του νωπού δείγματος (Vial et al., 1991).

% Πρόσληψη στερεών (Solid Gain – SG%)

$$\% \text{ Πρόσληψη στερεών} : SG = \frac{(M_s - M_{s_o}) \cdot 100}{M_o}$$

όπου: M_{s_o} : τα ολικά στερεά του νωπού δείγματος

M_s : τα ολικά στερεά του δείγματος μετά την ωσμωτική αφυδάτωση στον αντίστοιχο χρόνο t και

M_o : Το βάρος του νωπού δείγματος (Vial et al., 1991).

Πηλίκιο (WL/SG)

Ισχύει ότι : $\% WL = \% WR + \% SG$ (Serenio et al., 2001).

4.5. Μετρήσεις Μηχανικών Ιδιοτήτων με το INSTRON

Χρησιμοποιήθηκε το INSTRON (1140) του βιομηχανικού εργαστήριου .

4.5.1. Δοκιμή Συμπίεσης 25%

Τα νωπα δείγματα ή τα δείγματα μετά την ωσμωτική αφυδάτωση συσκευάστηκαν σε συσκευασίες των 5 τεμαχίων και διατηρήθηκαν στο ψυγείο στους $4^{\circ} C$ για 24 ώρες, από όπου κάθε συσκευασία έβγαине λίγο πριν την μέτρηση .

Σε κάθε δείγμα (κυλινδρικού σχήματος αρχικών διαστάσεων διαμέτρου 3,5cm και ύψους 1cm) γινόταν με παχύμετρο μέτρηση της διαμέτρου και του πάχους.

Το πάχος του δείγματος και ο κωδικός του συμπληρώνονταν στην φόρμα του συστήματος καταγραφής και αποθήκευσης δεδομένων.

Η ταχύτητα καθόδου της κεφαλής στο INSTRON ρυθμίστηκε στα 80mm/min ,

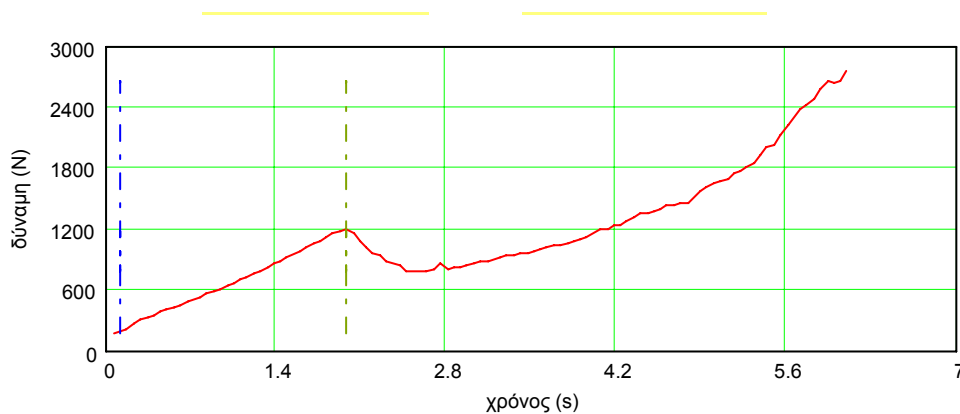
Για την συμπίεση χρησιμοποιήθηκε στέλεχος διαμέτρου 5cm

Η συμπίεση ρυθμίστηκε στο 25% .(συμπίεση στο 75% του αρχικού ύψους)

Η αποδόμηση των ιστών ορίζεται σαν η πρώτη εμφάνιση μηδενικής κλίσης της καμπύλης δύναμης –αντίδρασης (force-deflection)

Υπολογισμοί:

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα mathcad και οι υπολογισμοί με το πρόγραμμα excel



Καταγράφηκαν η μέγιστη δύναμη της πρώτης κορυφής (N) ως δύναμη θραύσης(F) και ο αντίστοιχος χρόνος(s) θραύσης

Η αποδόμηση του ιστού ορίζεται σαν η πρώτη εμφάνιση μηδενικής κλίσης της καμπύλης δύναμης –αντίδρασης (force-deflection)(Lin and Pitt 1985)

Υπολογίστηκαν

- Το ύψος παραμόρφωσης(dL) από το γινόμενο του χρόνου(s) και της ταχύτητας καθόδου της κεφαλής 80/60 mm/min. Πχ $1,81 \cdot 80/60 = 2,41 \text{ mm}$.
- Το τελικό ύψος του δείγματος κατά την στιγμή της θραύσης $H_T = (L_0 - dL)$
- Το εμβαδόν του δείγματος πριν την συμπίεση (A_0) και το εμβαδόν του συμπιεσμένου δείγματος A_t από τον τύπο ($A_t = A_0 \cdot H_0 / H_t$) υποθέτοντας ότι δεν μεταβάλλεται ο όγκος του δείγματος κατά την συμπίεση (L. Mayor et al 2007 Mandala et al 2004)

- Η παραμόρφωση από το τύπο $\epsilon=dL/L_0$ (cauchy strain) (B. Bagley 1983)
- Η τάση συμπίεσης $\sigma=F/A_t$ σε μονάδες pa και σε τελικά Kpa
- Το έργο συμπίεσης από τον αρχικό έως τον τελικό χρόνο (έργο συμπίεσης 75%)
- Ο όγκος του δείγματος

Το ποσοστό μείωσης αρχικού όγκου (% συρρίκνωση)

$$\% \text{Συρρίκνωση} = \left(1 - \frac{\text{τελικός όγκος}}{\text{αρχικός όγκος}} \right) * 100$$

4.5.2. Δοκιμή Συμπίεσης -Χαλάρωσης

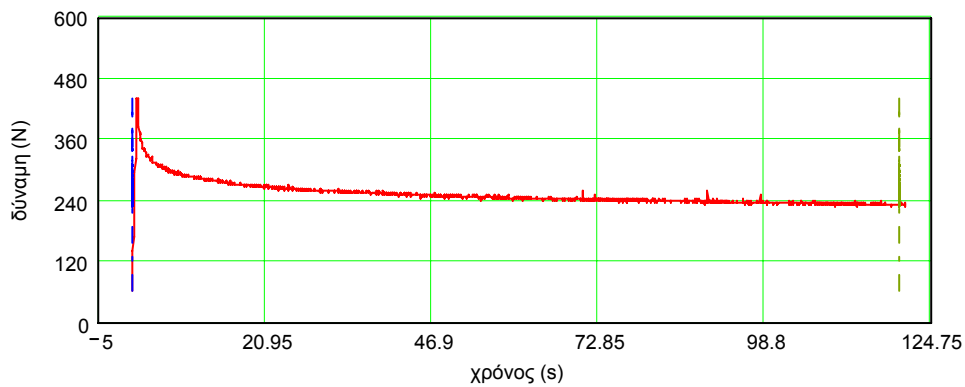
Τα δείγματα έμειναν στο ψυγείο 48 ώρες και κάθε συσκευασία έβγαινε από το ψυγείο λίγο πριν τη δοκιμή.

Σε κάθε δείγμα γινόταν με παχύμετρο μέτρηση της διαμέτρου και του πάχους, και τα στοιχεία του συμπλήρωναν την φόρμα του λογισμικού.

Η ταχύτητα καθόδου της κεφαλής ρυθμίστηκε στα 80mm/min, το ποσοστό συμπίεσης στο 90% του αρχικού ύψους, και ο χρόνος διατήρησης της παραμόρφωσης ορίστηκε στα 120 sec

Υπολογισμοί:

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε κυρίως με το πρόγραμμα mathcad ενώ χρησιμοποιήθηκε βοηθητικά το πρόγραμμα wordpad και το excel



Καταγράφηκαν η δύναμη F , και ο αντίστοιχος χρόνος της κορυφής, καθώς και η τελική δύναμη στον αντίστοιχο τελικό χρόνο (~ 120 s)

Υπολογίστηκαν:

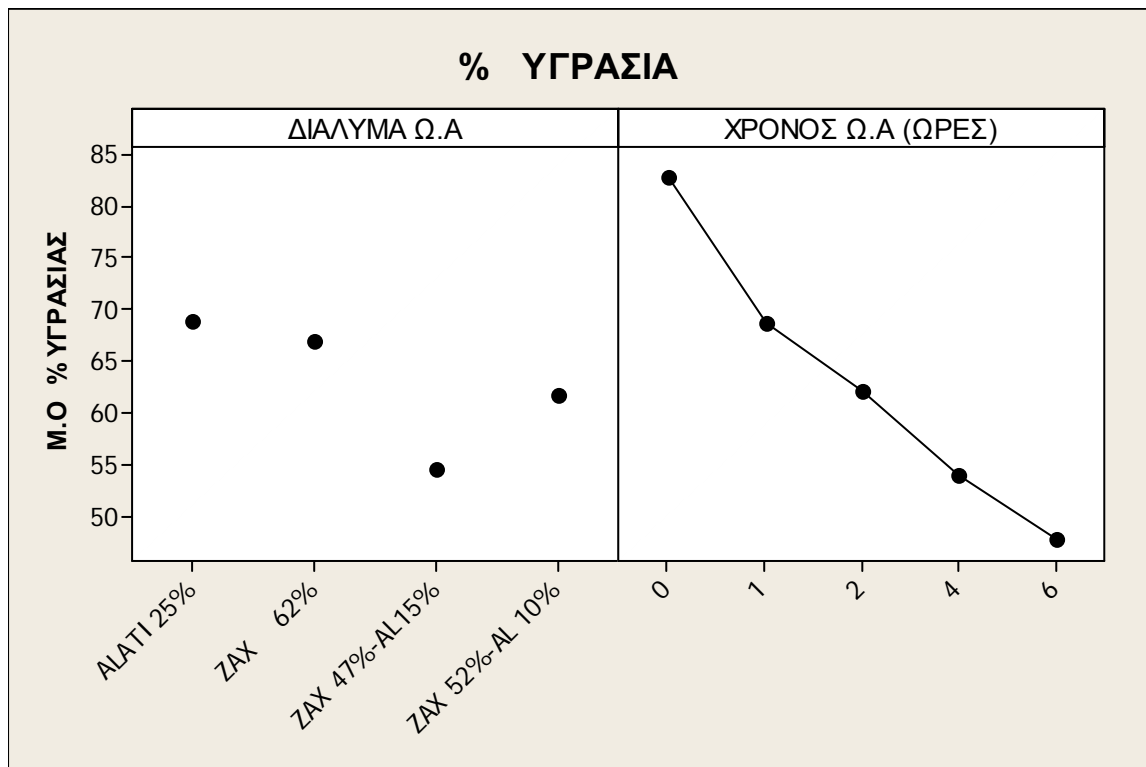
- το ύψος παραμόρφωσης (dL) από το γινόμενο του χρόνου (s) και της ταχύτητας καθόδου της κεφαλής $80/60$ mm/min.
- Το ύψος παραμόρφωσης dL
- Το τελικό ύψος του δείγματος κατά την στιγμή συμπίεσης $H_t(L_0 - dL)$
- Το εμβαδόν του δείγματος πριν την συμπίεση (A_0) και το εμβαδόν του συμπιεσμένου δείγματος A_t από τον τύπο ($A_t = A_0 \cdot H_0 / H_t$) υποθέτοντας ότι δεν μεταβάλλεται ο όγκος του δείγματος κατά την συμπίεση (Mayor et al 2007, Mandala et al 2004), ή $A(1 + \epsilon) = A_0$ (Bagley 1983)
- Η παραμόρφωση από το τύπο $\epsilon = dL / L_0$ (cauchy strain) (Bagley 1983)
- Η τάση συμπίεσης *Stress* $\sigma = F / A_t$
- Ο συντελεστής ελαστικότητας $E = \sigma / \epsilon$ (παρουσιάζεται σε μονάδες Mpa)
- Το πηλίκο της αρχικής προς την τελική δύναμη

Για τον υπολογισμό του χρόνου χαλάρωσης καταγράφηκε από το mathcad ο συντελεστής ολοκλήρωσης με δύο όρους με την βοήθεια της αριθμητικής μεθόδου

- Από την αντιστροφή του παραπάνω συντελεστή υπολογίστηκε ο χρόνος χαλάρωσης σε δευτερόλεπτα

5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. % Υγρασία



Σχήμα 1: Μέσοι όροι υγρασίας της πατάτας στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο Σχήμα 1 φαίνονται οι μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος αφυδάτωσης) επηρεάζουν ($p < 0,05$) τη μεταβολή της υγρασίας.

Ως προς το είδος του διαλύματος Ω.Α με βάση τον μέσο όρο της τελικής υγρασίας των δειγμάτων πατάτας από όλους τους χρόνους Ω.Α, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά:

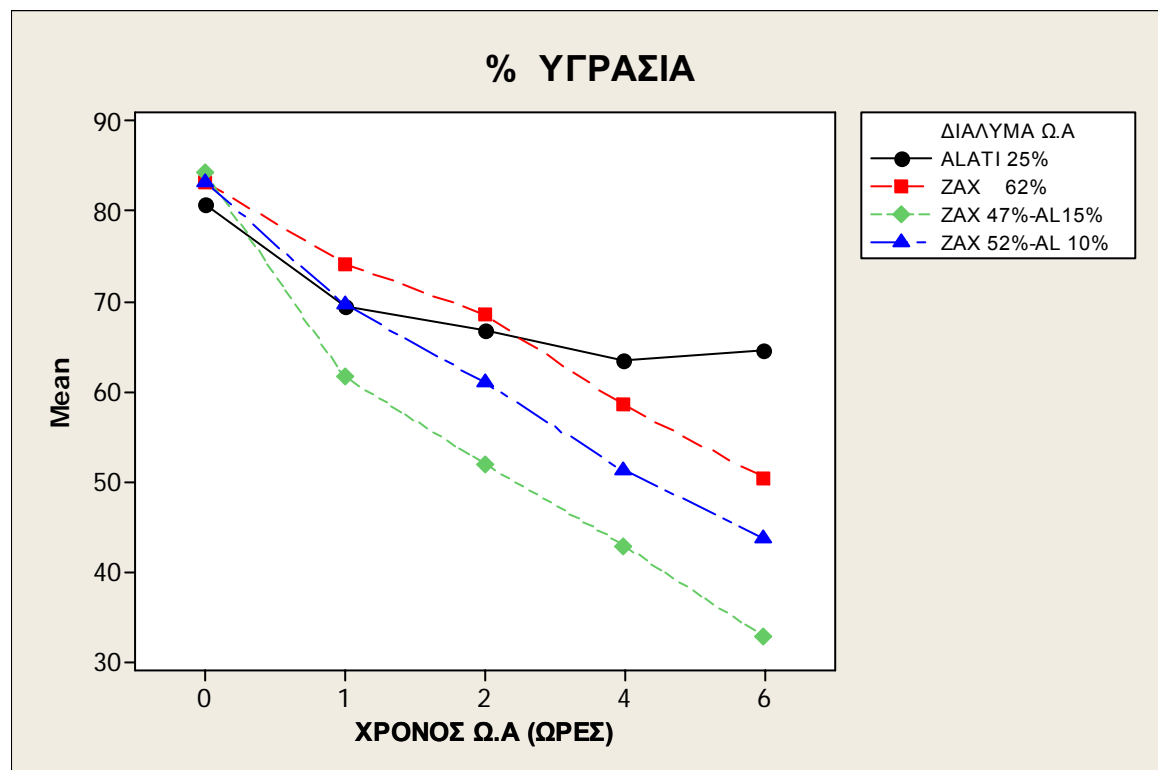
25% NaCl, Ζαχαρόζη 62%, 10%NaCl-52% Ζαχ, 15% NaCl-47% Ζαχ με μέσους όρους αντίστοιχα (69,0% 66,95%,61,8%,54,70%)

Παρατηρούμε ότι:

- Μικρότερη υγρασία παρουσιάζουν τα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης .και χλωριούχου νατρίου. Στο μεικτό διάλυμα με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα άλατος (15%NaCl-47% σακχαρόζη) παρουσιάστηκε η μικρότερη υγρασία
- Τα δείγματα που αφυδατώθηκαν σε διάλυμα 25% NaCl παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τελική υγρασία

Ως προς τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης στο σύνολο όλων των διαλυμάτων παρατηρείται μείωση της περιεχόμενης υγρασίας με την αύξηση του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας παρατηρείται την πρώτη ώρα Ω.Α ενώ ο ρυθμός μείωσης είναι μικρότερος όσο αυξάνει ο χρόνος Ω.Α



Σχήμα 2 Μεταβολή της υγρασίας στα διαφορετικά διαλύματα ,σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στο σχήμα 2 φαίνονται αναλυτικά οι μεταβολές της υγρασίας σε σχέση με το χρόνο παραμονής των πατατών στα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν

Παρατηρούμε ότι στα δείγματα που αφυδατώθηκαν με το διάλυμα 15% NaCl-47% ζαχαρόζης εμφανίζουν μικρότερη υγρασία σε όλους τους χρόνους. Και σημαντικά μεγαλύτερο ρυθμό στην πρώτη ώρα Ω.Α. Η τελική υγρασία φθάνει στο 32,72% από 84,4% που ήταν αρχικά (μείωση κατά 51,68%)

Στο διάλυμα 25% NaCl η μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας έχει πραγματοποιηθεί (10,47%) στην πρώτη ώρα Ω.Α, ενώ συνεχίζεται με πολύ αργό ρυθμό μέχρι τις 4. Η συνολική μείωση υγρασίας είναι 16,43%

Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων-αναφορές

Σκοπός της επεξεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η μείωση της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων. με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας συντήρησης των οσμωτικά αφυδατωμένων προϊόντων

Η τελική υγρασία των ωσμωτικά αφυδατωμένων προϊόντων είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η απομάκρυνση του νερού όπως προκύπτει από σύγκριση των αποτελεσμάτων απώλειας νερού και τελικής υγρασίας.

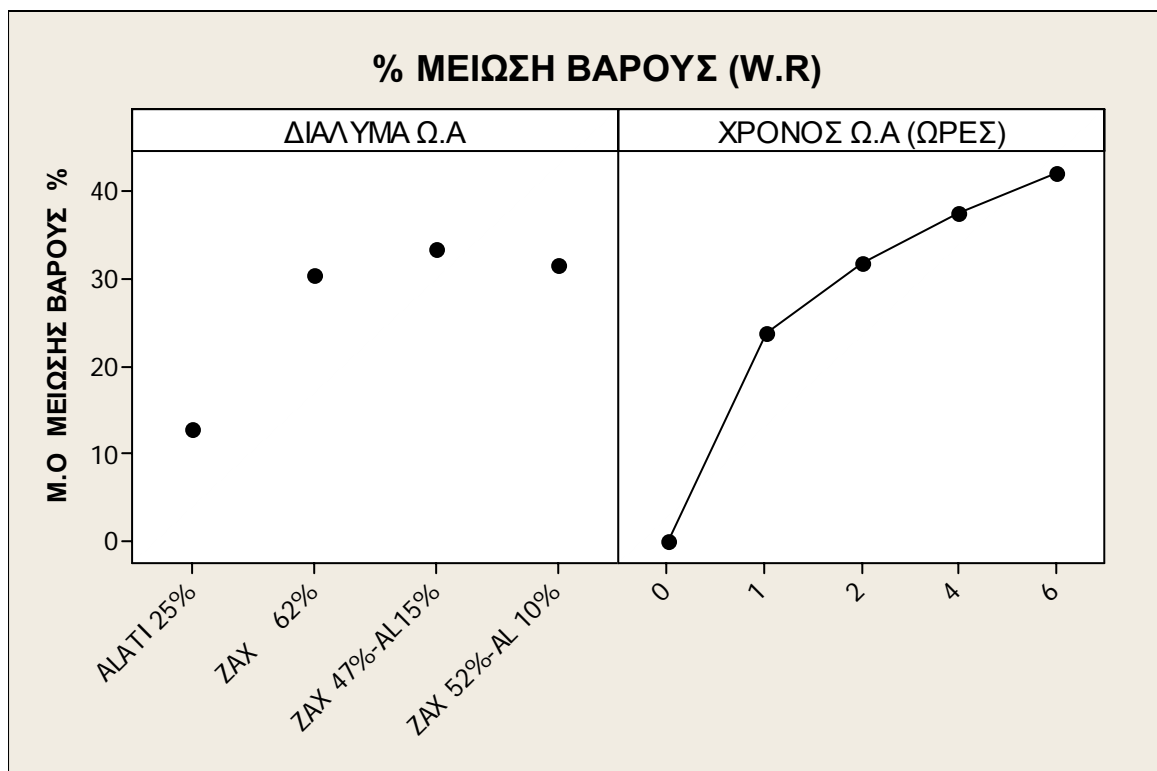
Οι Islam and Flink 1982 αναφέρουν ότι σακχαρόζη μόνη της ή σε συνδυασμό με το αλάτι μπορεί να δώσει υψηλότερα επίπεδα απώλειας νερού με τελικό αποτέλεσμα υψηλή περιεκτικότητα στερεών Η ικανότητα συγκράτησης νερού από το χλωριούχο νάτριο είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης από την σακχαρόζη ή τα αρχικά συστατικά της πατάτας. Έτσι σε προϊόντα που περιέχουν αλάτι η ξήρανση ολοκληρώνεται σε υψηλότερη τελική περιεκτικότητα σε υγρασία ($a_w < 0.7$)

Συγκρίνοντας διάφορα ωσμωτικά διαλύματα με συνολική συγκέντρωση 60% ολικά στερεά φαίνεται ότι τα μεικτά διαλύματα σακχαρόζης –αλατιού δίνουν μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας του νερού από ότι το καθαρό διάλυμα σακχαρόζης εξ αιτίας ασφαλώς της πρόσληψης άλατος. (Lenard and Flink 1984)

Οι Gonzales et al 1993 θεωρούν ότι η καλύτερη επιλογή ωσμωτικού μέσου είναι ο συνδυασμός άλατος-ζάχαρης. Το αμέσως επόμενο καλύτερο ωσμωτικό μέσο είναι το διάλυμα ζάχαρης και λιγότερο δραστικό το NaCl.

Μετά από μικρό χρόνο μιας ώρας εμφανίζεται σημαντικά αυξημένη πρόσληψη στερεών και απώλεια νερού και σημαντική μείωση της ενεργότητας του νερού (Lenard and Flink 1984)

5.2. % Μείωση βάρους



Σχήμα 3: Μέσοι όροι μείωσης βάρους της πατάτας στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο Σχήμα 3 φαίνονται οι μέσοι όροι της μείωσης βάρους των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (two-way ANOVA) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος αφυδάτωσης) επηρεάζουν τη μείωση βάρους στις πατάτες ($p < 0,05$)

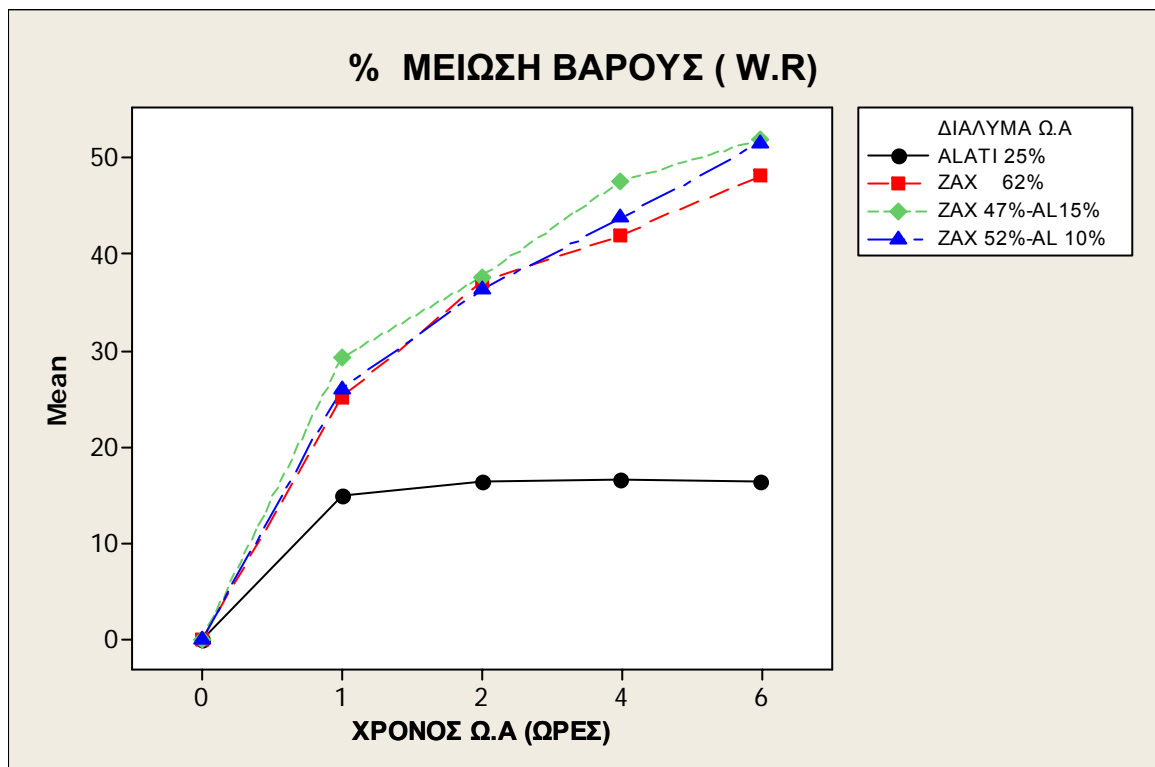
Ως προς το είδος του διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης με βάση τον μέσο όρο της μείωσης βάρους των δειγμάτων πατάτας από όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά

15% NaCl-47%Ζαχ., 10%NaCl-52% Ζαχ., Ζαχαρόζη 62%, 25% NaCl με μέσους όρους 33,35 %, 31,58%, 30,54%,12,89% αντίστοιχα

Παρατηρούμε ότι:

- Μεγαλύτερη μείωση βάρους παρουσιάζουν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης-αλατιού και ακολουθεί χωρίς σημαντική διαφορά το διάλυμα της ζαχαρόζης
- Την μικρότερη μείωση βάρους εμφάνισαν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25%

.Ως προς τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρείται αύξηση του μέσου όρου της μείωσης βάρους καθώς αυξάνει ο χρόνος. Η μεγαλύτερη μείωση βάρους παρατηρείται την πρώτη ώρα ωσμωτικής αφυδάτωσης 23,86% και ο ρυθμός μειώνεται καθώς αυξάνει ο χρόνος Ω.Α



Σχήμα 4 Μεταβολή στην μείωση βάρους στα διαφορετικά διαλύματα, σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Από το σχήμα 4 παρατηρείται ότι στο μικτό διάλυμα 15%NaCl-47%ζαχαρόζης η μείωση βάρους είναι μεγαλύτερη σε όλους τους χρόνους Ω.Α, σε σύγκριση με τα άλλα διαλύματα

Στο διάλυμα NaCl 25% η μείωση βάρους παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλους τους χρόνους ,και γίνεται κυρίως στην πρώτη ώρα Ω.Α(14,9%), ενώ στις 6 ώρες Ω.Α συνολικά φθάνει στο 16,5%

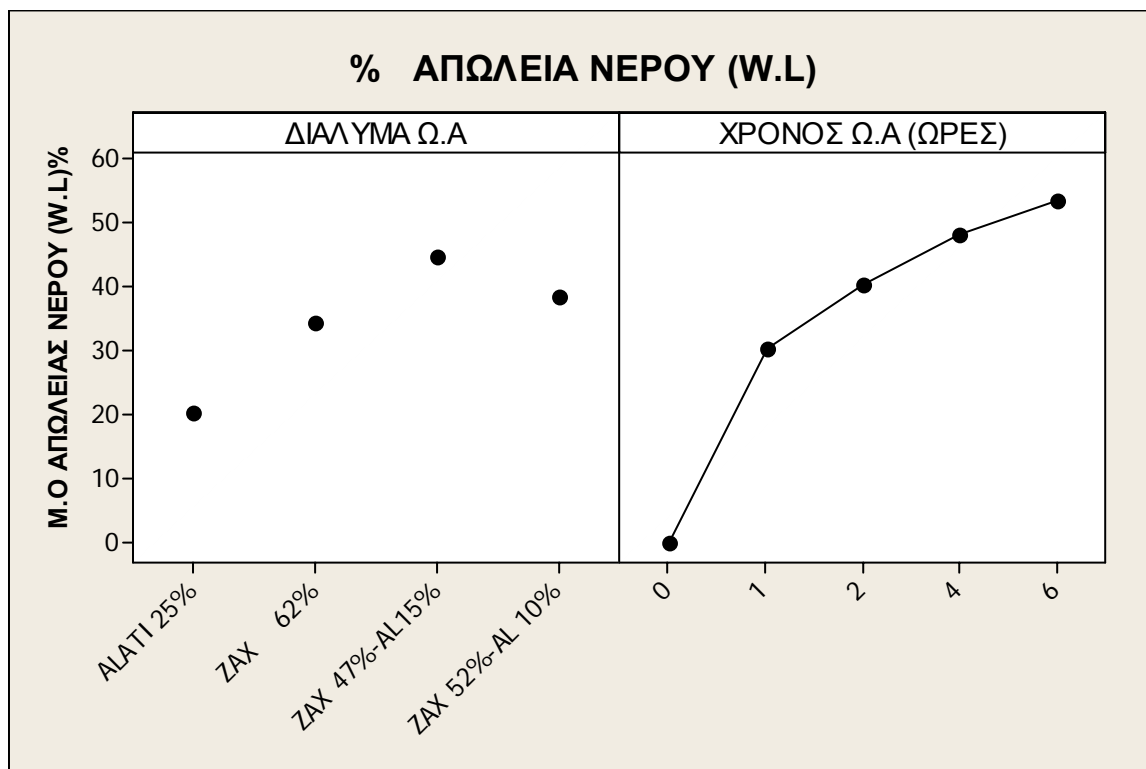
Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων-αναφορές

Η σειρά με την οποία κατατάσσονται τα δείγματα συμφωνεί με την σειρά που προκύπτει από την απώλεια νερού και την τελική υγρασία των δειγμάτων. με μικρότερες μεταξύ τους διαφορές

Η μείωση βάρους είναι η διαφορά: **απώλεια νερού(WL) – πρόσληψη στερεών(SG)** Επειδή η απώλεια νερού είναι μεγαλύτερη από την πρόσληψη στερεών το καθαρό αποτέλεσμα είναι μείωση του βάρους των ωσμωτικά αφυδατωμένων πατατών όπως αναφέρει οι (Chiralt et al., 2000).

Τρεις φάσεις εμφανίζονται κατά την μελέτη του ρυθμού μείωσης βάρους κατά την ωσμωτική αφυδάτωση : μία γρήγορη φάση πρόσληψης στερεών και της απώλειας νερού τις πρώτες 1 έως 2 ώρες , μείωση του ρυθμού στη συνέχεια και τάση να επιτευχθεί ισορροπία (2 έως 8 ώρες) και τελικά την φάση όπου ο ρυθμός της μείωσης βάρους μειώνεται από την αργή αλλά συνεχή πρόσληψη στερεών (Gonsales et al 1993.

5.3. % Απώλεια νερού



Σχήμα 5: Μέσοι όροι απώλειας νερού της πατάτας στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο Σχήμα 5 φαίνονται οι μέσοι όροι της απώλειας νερού των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (two-way ANOVA) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος αφυδάτωσης) επηρεάζουν την απώλεια νερού στις πατάτες ($p < 0,05$).

Ως προς το είδος του διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης με βάση τον μέσο όρο της απώλειας νερού των δειγμάτων πατάτας από όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά (από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη απώλεια βάρους)

15% NaCl-47%ζαχ., 10%NaCl-52%ζαχ., 62% Ζαχαρόζη, 25% NaCl

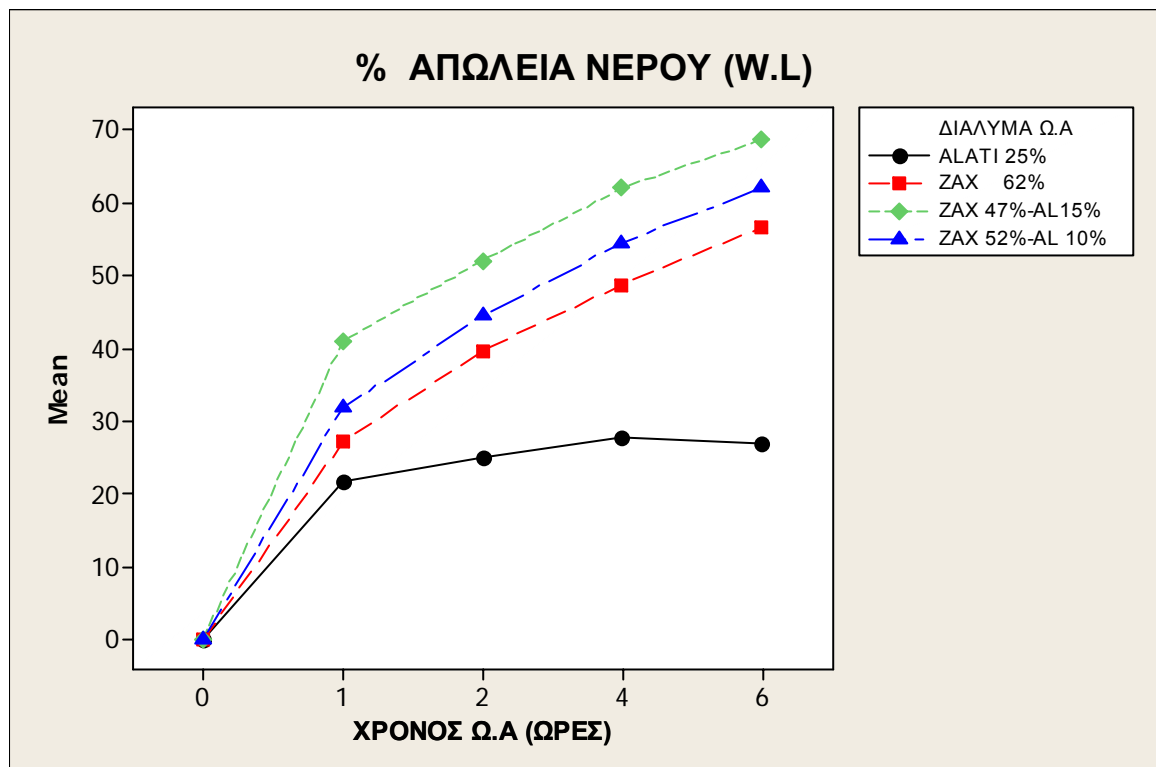
Οι μέσοι όροι είναι αντίστοιχα 44,81%, 38,62%, 34,47%, 20,36%

Παρατηρούμε ότι:

- Μεγαλύτερη απώλεια νερού παρουσιάζουν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης-αλατιού και μεταξύ τους το διάλυμα 15%NaCl-47%ζαχαρόζης Την μικρότερη απώλεια βάρους εμφάνισαν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25%

Ως προς τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρείται αύξηση του μέσου όρου της απώλειας νερού καθώς αυξάνει ο χρόνος.

Στην πρώτη ώρα Ω..Α παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια νερού(30,45%),ενώ ο ρυθμός σταθερά μειώνεται στις επόμενες ώρες



Σχήμα 5 Μεταβολή της απώλειας νερού στα διαφορετικά διαλύματα ,σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Από το σχήμα 5 προκύπτει ότι στο μικτό διάλυμα 15% NaCl - 47%ζαχαρόζης η απώλεια νερού είναι μεγαλύτερη σε όλους τους χρόνους Ω.Α. Ακολουθεί το μικτό διάλυμα 10% αλατιού- 52% ζαχαρόζης Στο διάλυμα

NaCl 25% η απώλεια βάρους παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλους τους χρόνους.

Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων-αναφορές

Με βάση τον Νόμο του van't Hoff για την ωσμωτική πίεση, η Ωσμωτική πίεση των μοριακών διαλυμάτων, είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η μοριακή συγκέντρωση. Στα ηλεκτρολυτικά διαλύματα η ωσμωτική πίεση έχει μεγαλύτερη τιμή από εκείνη που προβλέπεται βάσει των εξισώσεων και της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. (Βικιπαίδεια)

Με βάση την % κ.β σύσταση τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν κατατάσσονται με σειρά από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη μοριακή συγκέντρωση εξής:

25% NaCl (5,0) > 15% NaCl-47%ζαχ.(4,65) > 10%NaCl-52%ζαχ.,(3,87) > 62% Ζαχαρόζη (2,3) στην παρένθεση είναι ο αριθμός των mol/1000 gr διαλύματος

Τα αποτελέσματα της απώλειας νερού είναι σύμφωνα με την παραπάνω σειρά με εξαίρεση το διάλυμα 25% NaCl. Το διάλυμα του καθαρού NaCl ενώ θεωρητικά έχει την μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση δεν παρουσιάζει την αντίστοιχη μεγαλύτερη απομάκρυνση νερού. Αυτό πιθανόν σχετίζεται με την ισορροπία στην ενεργότητα νερού του διαλύματος και της οσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας, που επιτυγχάνεται πολύ γρήγορα.

Η ενεργότητα a_w του διαλύματος NaCl αυξάνεται από την αφαίρεση αλατιού που είναι σημαντική στην διάρκεια της Ω.Α ενώ η ενεργότητα νερού a_w της πατάτας μειώνεται σημαντικά από την αφαίρεση νερού και την προσθήκη του NaCl

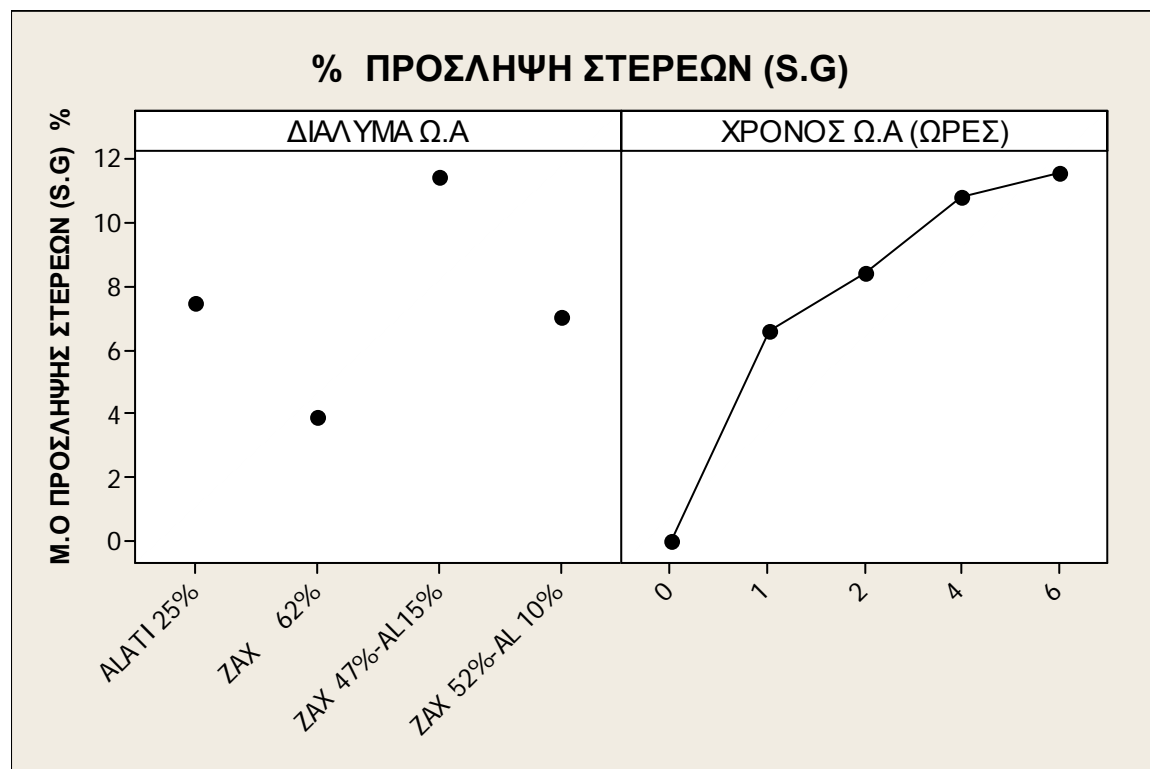
Οι Lenart and J . M. Flink 1984 αναφέρουν η διαδικασία της ώσμωσης οφείλεται στην διαβάθμιση της ωσμωτικής πίεσης και ότι η ροή του νερού συνεχίζεται μέχρι η ενεργότητα του νερού μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος να εξισωθεί .

Από διάφορους ερευνητές έχει παρατηρηθεί ότι :Ο συνδυασμό ζάχαρης – άλατος έχει συνεργιστική επίδραση (Toreggiani 1993). Τα συνδυαστικά διαλύματα με αυξημένη συγκέντρωση προκαλούν μεγαλύτερη απώλεια νερού.(Chiralt et al., 2000), Αυξάνοντας τη συγκέντρωση άλατος σε διάλυμα σακχάρου/άλατος οδηγούμαστε σε διαλύματα με αυξημένη ωσμωτική ικανότητα (Eren et al.,2005).

Η διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ των αλάτων και των σακχάρων προκύπτει από τις διαφορές στο μέγεθος και την μοριακή συγκέντρωση των ιονισμένων αλάτων και των μεγαλύτερων μορίων των μη ιονισμένων σακχάρων. Τα μικρότερα ιόντα των αλάτων μπορούν ευκολότερα να διαχυθούν διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών έχοντας σαν αποτέλεσμα υψηλότερη πρόσληψη στερεών. αυτή η πρόσληψη των στερεών μειώνει την διαφορά του ωσμωτικού δυναμικού. Τα σάκχαρα καθώς είναι μεγαλύτερα ,δεν μπορούν εύκολα να διαχυθούν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης και έτσι η προσέγγιση της ισορροπίας επιτυγχάνεται κυρίως με την απομάκρυνση νερού από το κύτταρο .(Islam and Flink1982)

Σύμφωνα με την D. Toreggiani 1993 το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας νερού παρατηρείται τις πρώτες 2 ώρες της ωσμωτικής αφυδάτωσης .

5.4.%Πρόσληψη στερεών



Σχήμα 6: Μέσοι όροι πρόσληψης στερεών στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο Σχήμα 6 φαίνονται οι μέσοι όροι της πρόσληψης στερεών των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (two-way ANOVA) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος αφυδάτωσης) επηρεάζουν τη πρόσληψη στερεών στις πατάτες ($p > 0,05$)

Ως προς το είδος του διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης με βάση τον μέσο όρο της πρόσληψης στερεών των δειγμάτων πατάτας από όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά (από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη πρόσληψη στερεών)

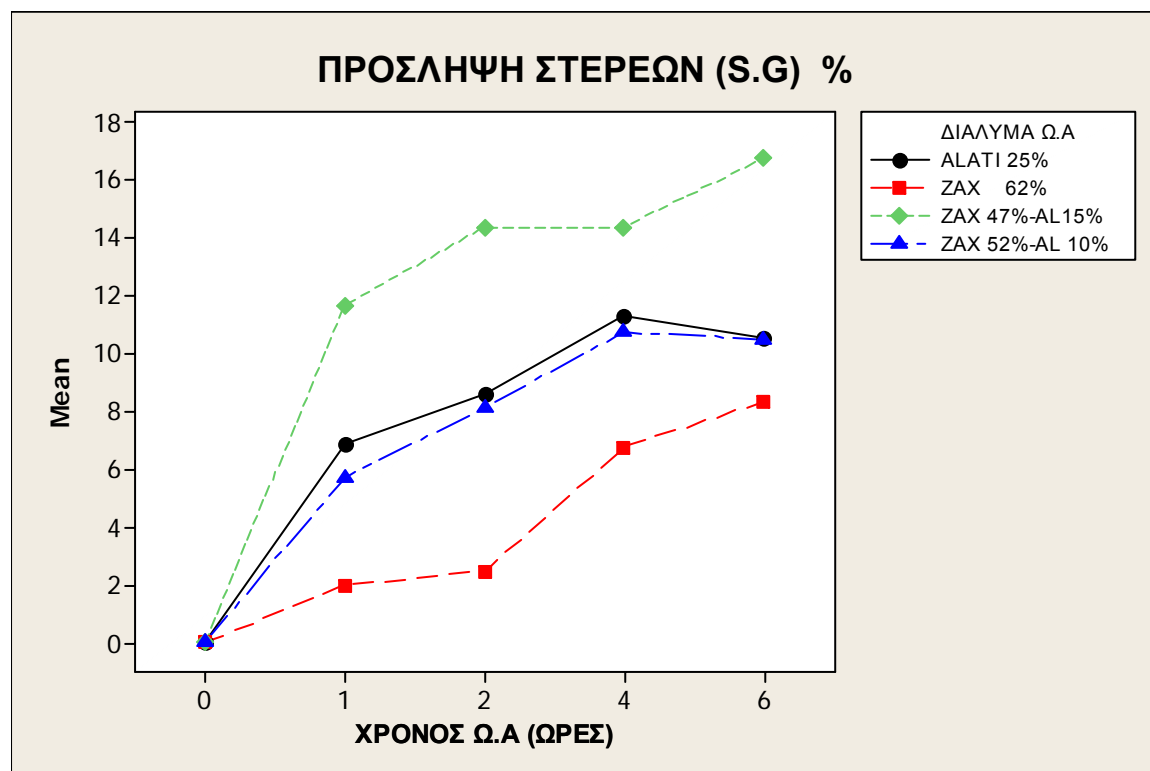
15%NaCl-47%Ζαχ., NaCl 25%, 10%NaCl-52%Ζαχ, Ζαχαρόζη 62%
με αντίστοιχους μέσους όρους 3,9%, 7,05%, 7,4%, 11,46%

Παρατηρούμε ότι:

- Μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών εμφανίζουν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στο μικτό διάλυμα 15%NaCl - 47%ζαχ. και γενικότερα στα διαλύματα που περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες NaCl ενώ μικρότερη πρόσληψη παρατηρείται στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα που περιέχει μόνο ζαχαρόζη.

Ως προς τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρείται αύξηση του μέσου όρου της πρόσληψης στερεών καθώς αυξάνει ο χρόνος.

Στο σύνολο των διαλυμάτων η μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών εμφανίζεται την πρώτη ώρα Ω.Α (6,59%), αυξάνει στην συνέχεια με μικρότερους ρυθμούς και φτάνει σε ποσοστό 11,56% στις 6 ώρες Ω.Α .



Σχήμα 7 Μεταβολή στη πρόσληψη στερεών στα διαφορετικά διαλύματα ,σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Παρατηρείται ότι στο μικτό διάλυμα 15%NaCl-47%ζάχ η πρόσληψη στερεών είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε όλους τους χρόνους Ω.Α. Ακολουθεί το διάλυμα 25% NaCl και κοντά το μικτό διάλυμα 10%NaCl-52% ζαχ. Στο διάλυμα ζαχαρόζης 62% η πρόσληψη στερεών παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλους τους χρόνους

Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων-αναφορές

Είναι εμφανής η αυξημένη πρόσληψη στερεών από τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στα διαλύματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα αλατιού και η πολύ μικρότερη πρόσληψη στερεών στα δείγματα της σακχαρόζης.

Το μέγεθος των μορίων του NaCl είναι μικρότερο από της σακχαρόζης και αυτό δίνει αντίστοιχα μεγαλύτερο βαθμό διάχυσης του

Σύμφωνα με τους **Gonzalez et al.,1993** υπάρχει μία αξιοσημείωτη διαφορά στον τρόπο δράσης των σακχάρων και του άλατος στον ιστό της ουσίας που προορίζεται

για αφυδάτωση. Ενώ η σακχαρόζη συσσωρεύεται σε ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση του επιφανειακού ιστού του τροφίμου, το αλάτι διεισδύει σε πολύ μεγαλύτερο βάθος.

Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μοριακό βάρος του αλατιού σε σχέση με τη ζάχαρη (**Sereno et al.,2000**).

Η παρουσία άλατος σε διάλυμα σακχάρου μπορεί να εμποδίσει τον σχηματισμό της επιφανειακής κρούστας που δημιουργεί το σακχαρούχο διάλυμα προωθώντας έτσι την μεγαλύτερη αποβολή νερού από το τρόφιμο.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην οσμωτική αφυδάτωση παίζει ο όγκος των μορίων του διαλύματος ο οποίος επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό απώλειας νερού/ πρόσληψης στερεών. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των μορίων τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος της διείσδυσης τους (**Eren et al.,2005**)

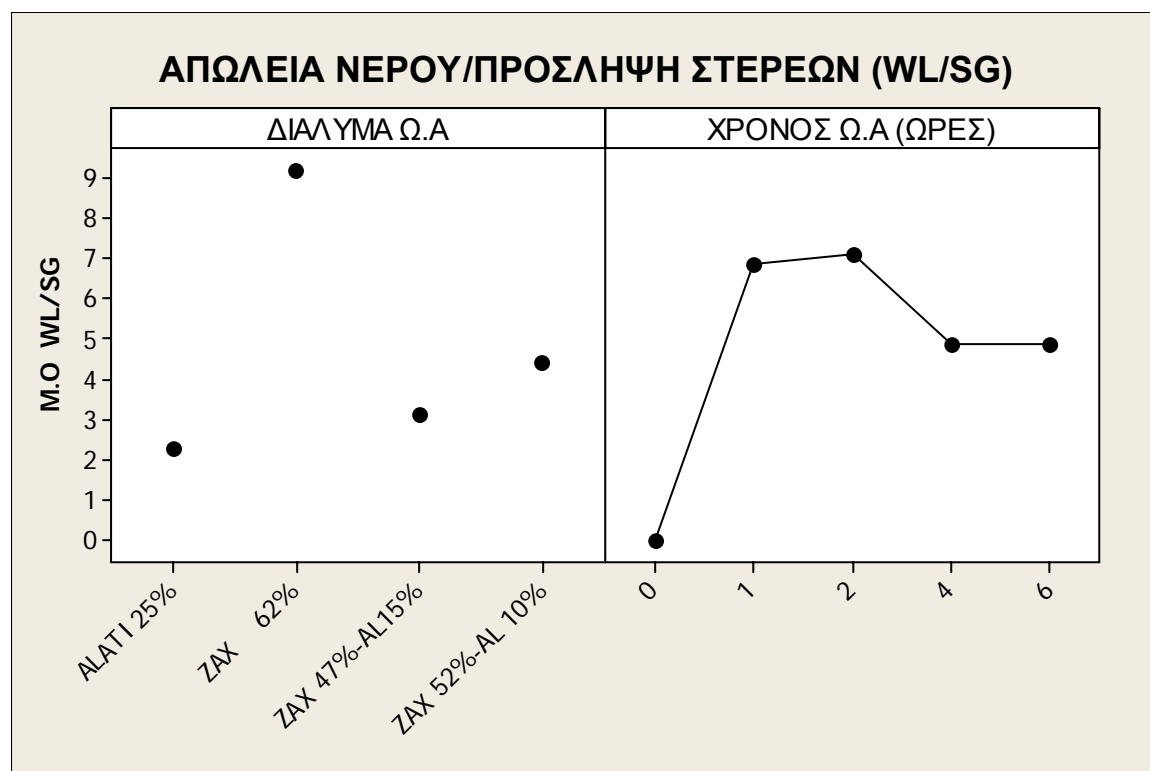
Οι Flink 1980 and Islam &Flink 1982 έδειξαν ότι ωσμωτική αφυδάτωση με μικτά διαλύματα έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική πρόσληψη στερεών

μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των σαχαροδιαλυμάτων της ίδιας συγκέντρωσης και ακόμη σημαντικά μεγάλη πρόσληψη στερεών στα καθαρά ωσμωτικά διαλύματα NaCl or KCl

Αυτά τα αποτελέσματα της συνδυασμένης δράσης αλατιού –ζάχαρης μπορούν να εξηγηθούν με την μείωση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης η οποία συμβαίνει κατά την πλασμόλυση επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι εξ αιτίας των διαφορετικών μοριακών διαστάσεων η ζαχαρόζη παραμένει στον εξωκυτταρικό χώρο ενώ το χλωριούχο νάτριο εισχωρεί στο εσωτερικό των κυτάρων (Sacchetti et al 2001)

Η μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών συμβαίνει την πρώτη 1,5 ώρα (Haward and Flink 1978 ενώ σύμφωνα με την D. Toreggiani 1993 το μεγαλύτερο μέρος της πρόσληψη στερεών συμβαίνει τα πρώτα 30 λεπτά.

5.5.Απώλεια νερού/ πρόσληψη στερεών(WL/SG)



Σχήμα 8: Μέσοι όροι απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών της πατάτας στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο Σχήμα 8 φαίνονται οι μέσοι όροι της απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (two-way ANOVA) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος αφυδάτωσης) επηρεάζουν την αναλογία απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών στις πατάτες ($p < 0,05$)

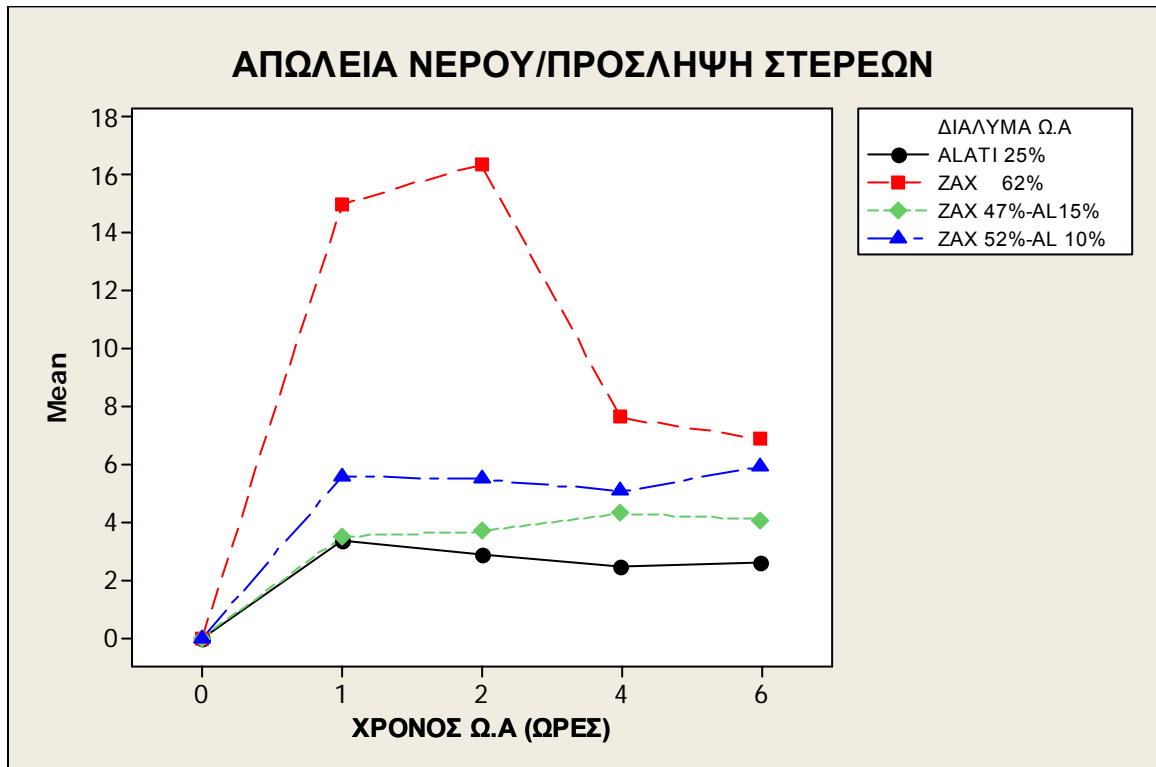
Ως προς το είδος του διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης με βάση τον μέσο όρο της μείωσης της αναλογίας απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών των δειγμάτων πατάτας από όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά (από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη πρόσληψη στερεών)

Ζαχαρόζη 62%, 10%NaCl-52% Ζαχ., 15% NaCl-47%Ζαχ., NaCl 25% με μέσους όρους αντίστοιχα (9,18, 4,42, 3,12 2,27)

Παρατηρούμε ότι:

- Μεγαλύτερη αναλογία απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών παρατηρείται στα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα ζάχαρής 62%
- Την μικρότερη αναλογία εμφάνισαν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25%

Ως προς τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης η αναλογία είναι μεγαλύτερη τις δυο πρώτες ώρες Ω.Α και μικραίνει στην συνέχεια



Σχήμα 9 Μεταβολή στην αναλογία απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών στα διαφορετικά διαλύματα ,σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Παρατηρείται ότι στο διάλυμα ζαχαρόζης 62% η αναλογία απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών είναι μεγαλύτερη σε όλους τους χρόνους Ω.Α. και ιδιαίτερα αυξημένη τις δύο πρώτες ώρες. Στα μεικτά διαλύματα NaCl-ζαχαρόζης η αναλογία αυξάνει την πρώτη ώρα και μετά σχεδόν σταθεροποιείται παρουσιάζοντας μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των επόμενων ωρών.

Στο διάλυμα NaCl 25% η πρόσληψη στερεών παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλους τους χρόνους .και αντίστοιχη με τα μεικτά διαλύματα συμπεριφορά μεταξύ των ωρών Ω.Α.

Αιτιολόγηση αποτελεσμάτων-αναφορές

Μεγαλύτερη αναλογία απώλειας νερού/πρόσληψης στερεών παρατηρείται στα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στα διαλύματα που περιέχουν μεγαλύτερες αναλογίες ζαχαρόζης .καθώς παρουσιάζουν μικρότερη πρόσληψη στερεών.

Σύμφωνα με τους Sereno et al 2001 όσο υψηλότερη είναι η αναλογία απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών τόσο καλύτερα αφυδατώνεται το τελικό προϊόν.

Σύμφωνα με τους Gonzalez et al , η σακχαρόζη είναι το προτεινόμενο μέσο ωσμωτικής αφυδάτωσης καθώς η σχέση της απώλειας νερού / πρόσληψης στερεών είναι μεγαλύτερη για την σακχαρόζη 5.62 σε σύγκριση με την γλυκόζη 4,36

Αναλύοντας την σχέση WL/SG μετά από 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης παρατηρείται ότι η σχέση αυξάνει όταν χρησιμοποιούνται ωσμωτικά διαλύματα υψηλής συγκέντρωσης καθώς η απώλεια νερού συνεχίζει να αυξάνει ενώ η πρόσληψη στερεών ουσιαστικά σταματά μετά από μικρό διάστημα

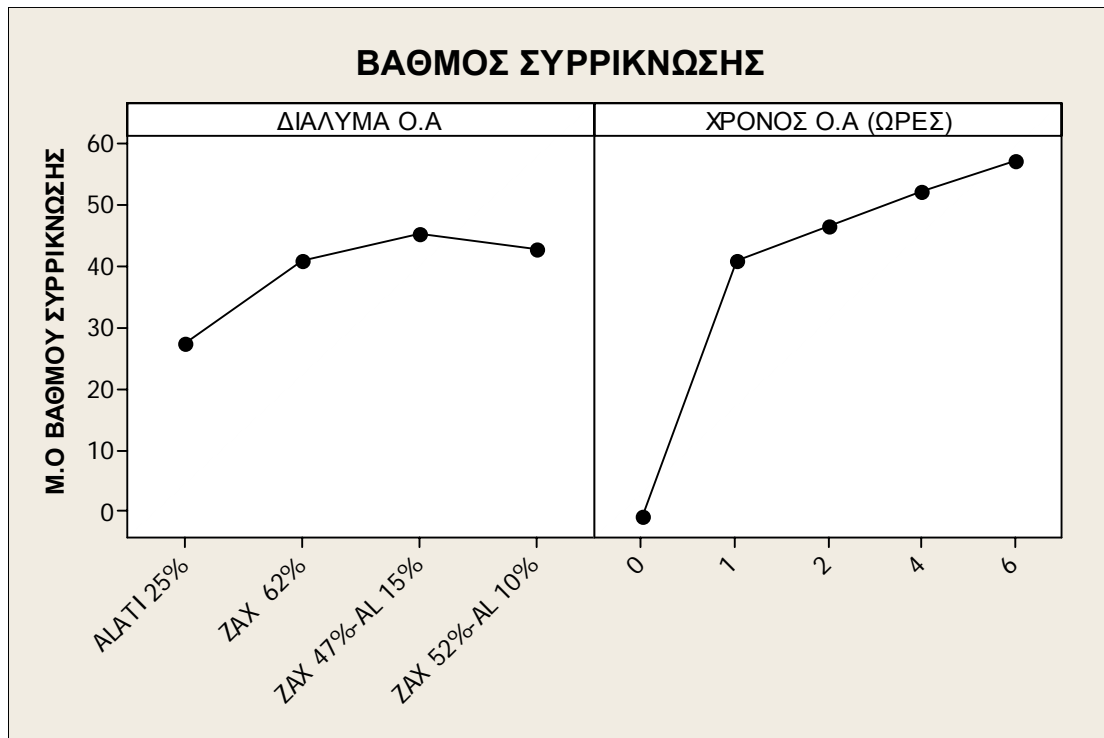
Οι Sereno et al 2001 βρήκαν ότι τα αποτελέσματα του πηλίκου WL/SG στα μικτά διαλύματα ζαχαρόζης –χλωριούχου νατρίου βρίσκονται μεταξύ των ορίων των αρχικών διαλυμάτων .

Πίνακας 2. Συσχέτιση μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων

		% Συρρίκνωση	Δύναμη θραύσης	Παραμόρφωση θραύσης	Συντελεστής ελαστικότητας	Χρόνος χαλάρωσης
Δύναμη θραύσης	Συντελεστής συσχέτισης	0,608				
	Τιμή <i>p</i>	<0,001				
Παραμόρφωση θραύσης	Συντελεστής συσχέτισης	0,676	0,32			
	Τιμή <i>p</i>	<0,001	<0,001			
Έργο συμπίεσης	Συντελεστής συσχέτισης	0,686	-0,103	-0,653		
	Τιμή <i>p</i>	<0,001	0,103	<0,001		
Συντελεστής ελαστικότητας	Συντελεστής συσχέτισης	-0,472	-0,313	-0,354		
	Τιμή <i>p</i>	<0,001	<0,001	<0,001		
Χρόνος χαλάρωσης	Συντελεστής συσχέτισης	-0,698	-0,235	-0,362	0,244	
	Τιμή <i>p</i>	<0,001	0,002	<0,001	0,001	
Δύναμη αρχική/τελική	Συντελεστής συσχέτισης	0,132	-0,105	-0,012	0,263	-0,669
	Τιμή <i>p</i>	0,034	0,101	0,857	<0,001	<0,001

5.6. Βαθμός Συρρίκνωσης

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν τον βαθμό συρρίκνωσης της πατάτας ($p < 0,05$)



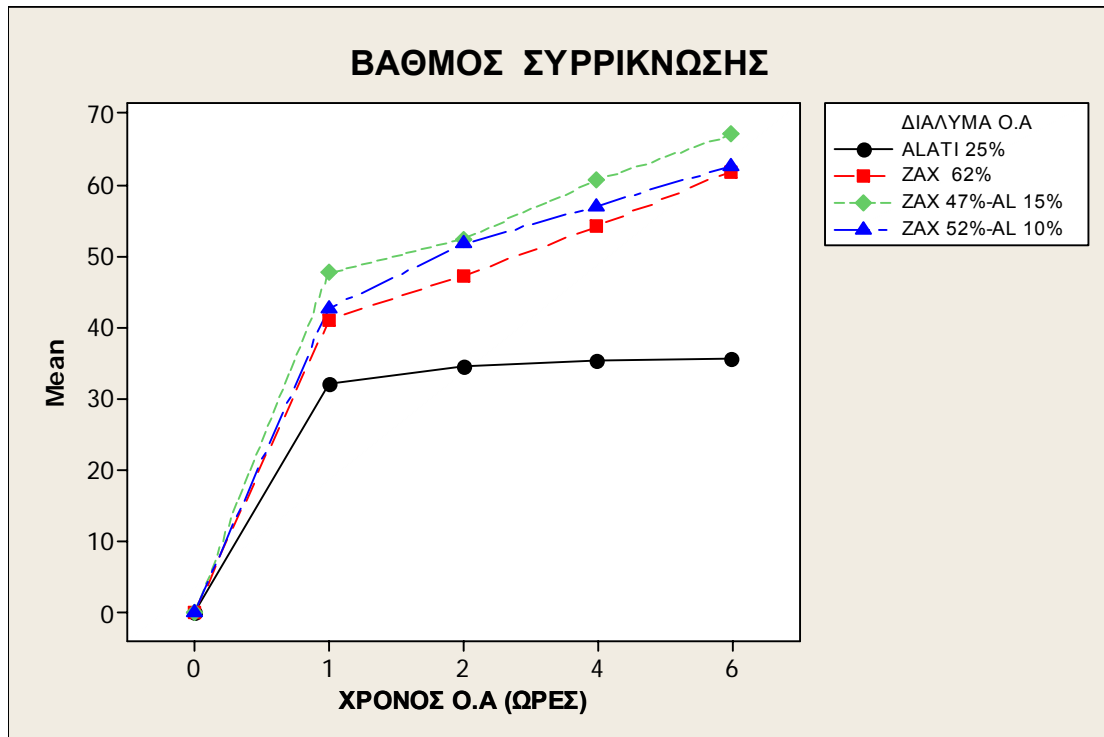
Σχήμα 10. Μέσοι όροι του βαθμού συρρίκνωσης της πατάτας στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στο **σχήμα 10** φαίνονται οι μέσοι όροι του βαθμού συρρίκνωσης που υπέστησαν τα δείγματα πατάτας σε σχέση με τα ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν και τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης. και στο **σχήμα 11** παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη της συρρίκνωσης σε κάθε διάλυμα.

Παρατηρούμε ότι:

- Ως προς το είδος του διαλύματος ωσμωτικής αφυδάτωσης με βάση τον μέσο όρο του % ποσοστού συρρίκνωσης από όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης, τα διαλύματα κατατάσσονται με φθίνουσα σειρά

15% NaCl-47%Ζαχ., 10%NaCl-52% Ζαχ., Ζαχαρόζη 62%, 25% NaCl



Σχήμα 11. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στον βαθμό συρρίκνωσης

- Σε όλους τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης μεγαλύτερη συρρίκνωση παρουσιάζουν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζαχαρόζης και χλωριούχου νατρίου. Στο μεικτό διάλυμα με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα άλατος (47%ζαχαρόζη-15%αλάτι) παρουσιάστηκε η μεγαλύτερη συρρίκνωση
- Τα δείγματα που αφυδατώθηκαν σε διάλυμα 25% NaCl παρουσιάζουν τη μικρότερη συρρίκνωση σε όλους τους χρόνους
- Ως προς τον χρόνο Ω.Α στο σύνολο των διαλυμάτων ο μεγαλύτερος βαθμός συρρίκνωσης 40,8% συμβαίνει την πρώτη ώρα, στη συνέχεια ο ρυθμός αύξησης της συρρίκνωσης γίνεται αργός και μετά από 6 ώρες Ω.Α φτάνει στο 57,2%
- Η συρρίκνωση σχεδόν δεν συνεχίζεται μετά την πρώτη ώρα στο διάλυμα 25% NaCl

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και τον βαθμό συρρίκνωσης των δειγμάτων (**πίνακας 1**), παρατηρούμε ότι η συρρίκνωση παρουσιάζει ισχυρή θετική συσχέτιση στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) με την απώλεια νερού 0,964, την μείωση βάρους 0,962 και την πρόσληψη στερεών 0,786, και ισχυρή αρνητική συσχέτιση -0,891 με τη τελική υγρασία των δειγμάτων.

Συμπεράσματα:

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση προκαλεί σημαντική συρρίκνωση των δειγμάτων πατάτας. Η μείωση του όγκου που προκαλείται είναι αποτέλεσμα των φαινομένων μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν στην ωσμωτική αφυδάτωση και κυρίως της απώλειας νερού, και είναι ποσοτικά και χρονικά συνδεδεμένη, με τις παραμέτρους που εξετάστηκαν.

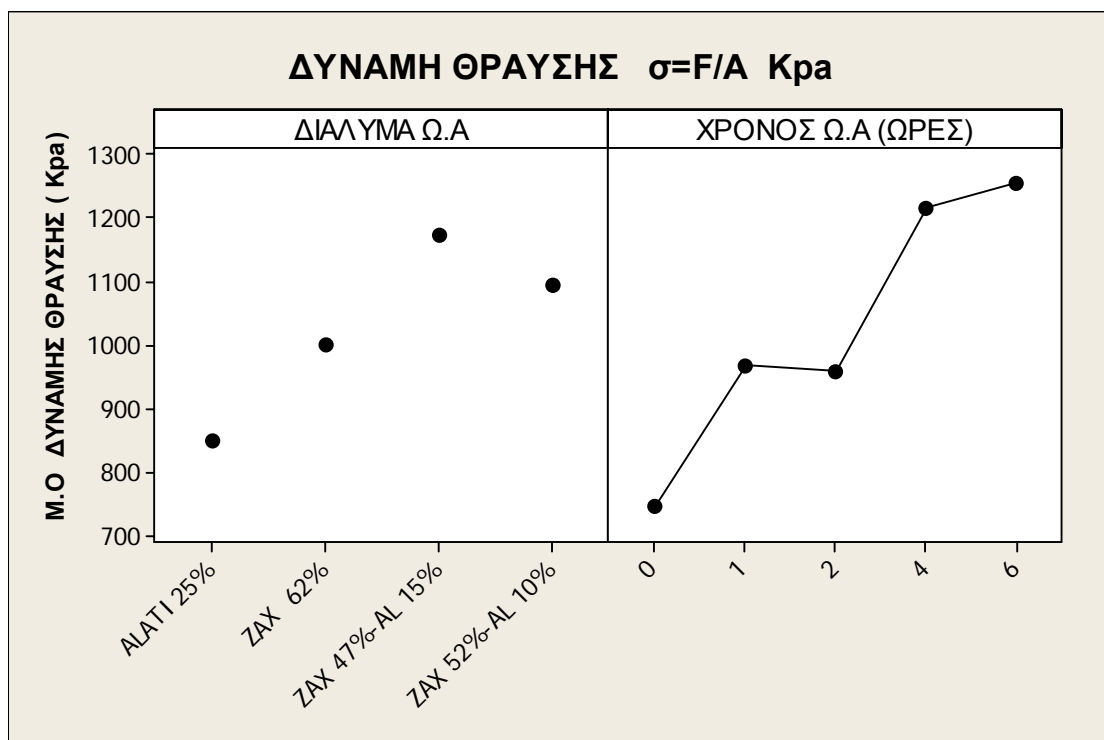
Οι Lazarides and Mavroudis, 1999, κατά την ωσμωτική αφυδάτωση πατάτας σε αμιλοσιρόπια βρήκαν ότι υπάρχει πολύ ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού μείωσης του όγκου και του ρυθμού του απομακρυνόμενου νερού και αναφέρουν ότι σε χρόνους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανική επεξεργασία ο όγκος του απομακρυνόμενου νερού είναι ίδιος ακριβώς με την συρρίκνωση στον όγκο του προϊόντος.

Οι Nieto et al. 2004 κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μήλων βρήκαν ότι σε σχετικά μικρούς χρόνους παρατηρήθηκε σημαντική μείωση βάρους και όγκου που προέρχεται από την ταχεία απώλεια νερού. Κατά τα πρώτα 100-150 λεπτά η μείωση του όγκου ακολουθεί τα αχνάρια της απώλειας νερού και μετά από αυτόν τον χρόνο η μείωση του όγκου είναι μικρότερη από την απώλεια της υγρασίας.

Αποτελέσματα από την δοκιμή συμπίεσης 75%

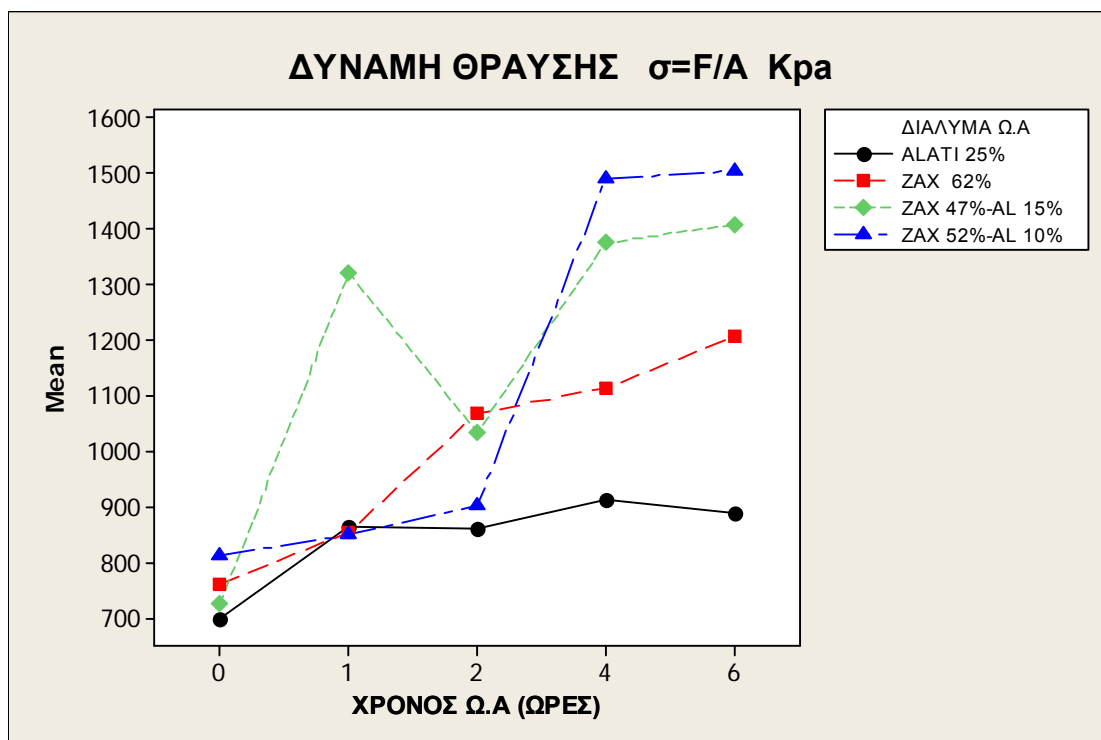
5.7. Δύναμη θραύσης (failure stress)

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν την δύναμη θραύσης της πατάτας ($p < 0,05$)



Σχήμα Σχήμα12. Μέσοι όροι της δύναμης θραύσης σε σχέση με τα διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο **σχήμα 12** φαίνονται οι μέσοι όροι της δύναμης θραύσης των δειγμάτων πατάτας, σε σχέση με τα διαφορετικά διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης, και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης και στο **σχήμα 13** παρουσιάζονται αναλυτικά η εξέλιξη της δύναμης θραύσης σε κάθε διάλυμα .



Σχήμα 13. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στην δύναμη θραύσης

Παρατηρούμε ότι:

- Η δύναμη θραύσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις τιμών (δες πίνακα παρατηρήματος) για κάθε μέσο όρο η οποία απεικονίζεται και στον διαφορετικό μέσο όρο των νωπών δειγμάτων κάθε διαλύματος
- Ως προς τον χρόνο στο σύνολο των διαλυμάτων παρατηρείται τάση αύξησης της δύναμης θραύσης με την αύξηση του χρόνου Ω.Α
- Την μεγαλύτερη δύναμη θραύσης παρουσιάζουν τα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης και χλωριούχου νατρίου, η οποία αυξάνει πολύ στις δύο τελευταίες ώρες Ω.Α
- Μικρότερη δύναμη θραύσης παρουσιάζουν τα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα 25% NaCl, η οποία αυξάνει την πρώτη ώρα και δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις μέχρι τις 6 ώρες Ω.Α

- Εξαιρέση στην εξέλιξη αποτελεί η μεγάλη τιμή της δύναμης θραύσης την πρώτη ώρα Ω.Α. στο μεικτό διάλυμα 15% NaCl-47%Ζαχ (Η τιμή που εμφανίζεται προέκυψε από την πρώτη από τις δυο κορυφές που εμφανίστηκαν στα συγκεκριμένα δείγματα)

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και στη δύναμη θραύσης των δειγμάτων (**πίνακας 1**), παρατηρούμε ότι η δύναμη θραύσης εμφανίζει στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) θετική συσχέτιση , με την απώλεια νερού 0,661 , την μείωση βάρους 0,652 , τον βαθμό συρρίκνωσης 0,600 και αρνητική συσχέτιση -0,662 με τη τελική υγρασία των δειγμάτων .

Στο διάγραμμα 2 του παραρτήματος παρουσιάζεται αναλυτικά για κάθε ωσμωτικό διάλυμα η επίδραση υγρασίας και συρρίκνωσης στην δύναμη θραύσης

Συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

Ότι η ωσμωτική αφυδάτωση με την μείωσης περιεχόμενης υγρασίας εξ αιτίας των φαινομένων μεταφοράς μάζας και της συρρίκνωσης που προκαλείται, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης που προκαλεί την θραύση της οσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας.

Η διαφοροποίηση στην εξέλιξη της δύναμης θραύσης με την αύξηση του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στα διαφορετικά διαλύματα Ω.Α οφείλεται στον διαφορετικό βαθμός αφυδάτωσης που προκαλείται καθώς και στη η διαφοροποίηση τόσο στο είδος των προσλαμβανόμενων στερεών, όσο και στην μεταξύ τους αναλογία.

Η μεγαλύτερη δύναμη θραύσης παρουσιάζεται στις 4 και 6 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης-αλατιού όπου έχουν παρατηρηθεί μικρότερες τελικές υγρασίες και μεγαλύτερη συρρίκνωση .

Η δύναμη θραύσης δεν διαφοροποιείται σημαντικά στα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν σε διάλυμα NaCl 25% καθώς δεν διαφοροποιείται

σημαντικά μετά από την πρώτη ώρα Ω.Α η υγρασία και ο βαθμός συρρίκνωσης

Οι Pang et al 1996 αναφέρουν ότι σε μικρές παραμορφώσεις οι δυναμικές ρεολογικές μετρήσεις δείχνουν ότι τα κύτταρα της πατάτας (που ονομάζονται παρέγχυμα) συμπεριφέρονται σαν ελαστικό υλικό. Η ετερογένεια στην δομή και την σύσταση μέσα στον ίδιο κόνδυλο πατάτας και μεταξύ διαφορετικών κονδύλων οδηγούν σε μεγάλες διακυμάνσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων της σκληρότητας

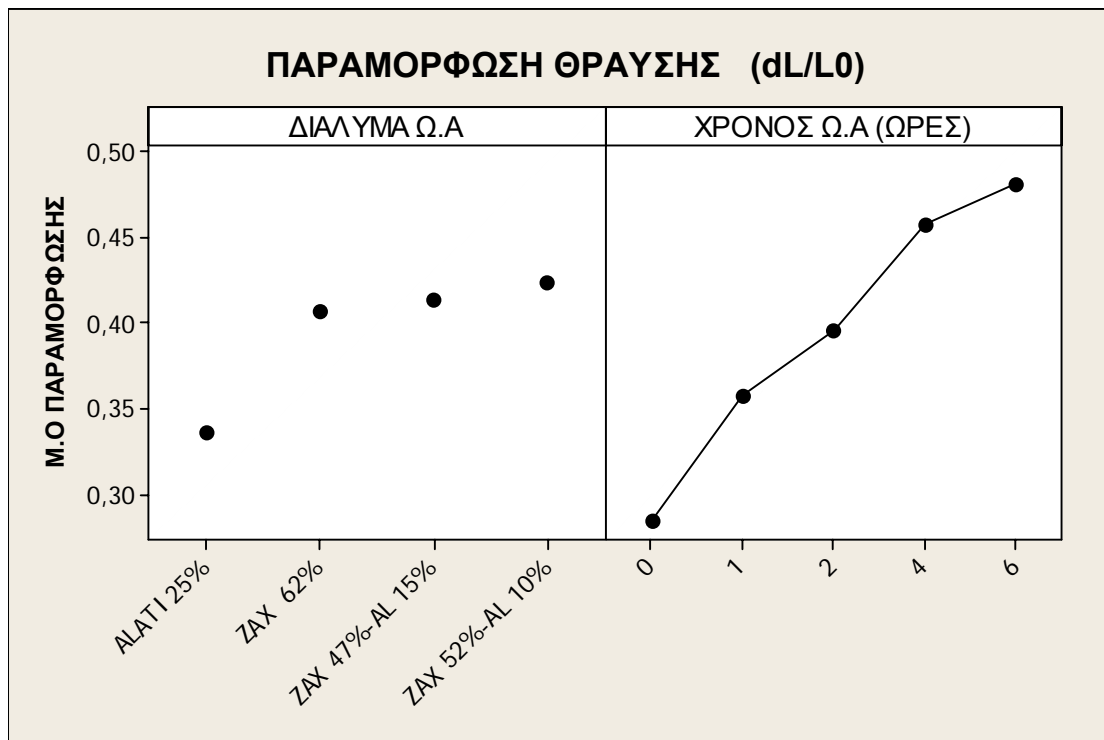
Ο M.Bourne 1977, Οι Mayor et al 2007 αναφέρουν ότι πολλά φυσικά τρόφιμα παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις μηχανικές ιδιότητες τους μεταξύ των διαφορετικών μονάδων του ίδιου είδους

Οι Scanlon et al 1996 αναφέρουν ότι οι αλλαγές στην περιεκτικότητα νερού που οδηγούν σε διαφορές στην πίεση σπαραγής επιδρούν στην σκληρότητα της πατάτας και ακόμη ότι οι φυσιολογικές αλλαγές οι οποίες διαφοροποιούν την βιοχημική φύση των κυτταρικών τοιχωμάτων επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες

Οι Lin and Pitt 1986 σε δοκιμές συμπίεσης δειγμάτων πατάτας στις οποίες διαφοροποιήθηκε η περιεκτικότητα νερού και συνεπώς η σπαραγή με εμβάπτιση και διατήρηση σε διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης μαννιτόλης, θεωρούν ότι στις πατάτες ο μόνος τρόπος αποδόμησης (failure mode) είναι η θραύση των κυττάρων (cell rupture) Από τις δοκιμές συμπίεσης-θραύσης που πραγματοποιήθηκαν στα παραπάνω δείγματα πατατών προκύπτει ότι σε περιοχές υγρασίας που έχουν εύρος από υγρασία μεγαλύτερη του νωπού (αύξηση σπαραγής) μέχρι και σημαντική μείωση της, λόγω της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η τάση συμπίεσης και η παραμόρφωση αυξάνουν με την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας.

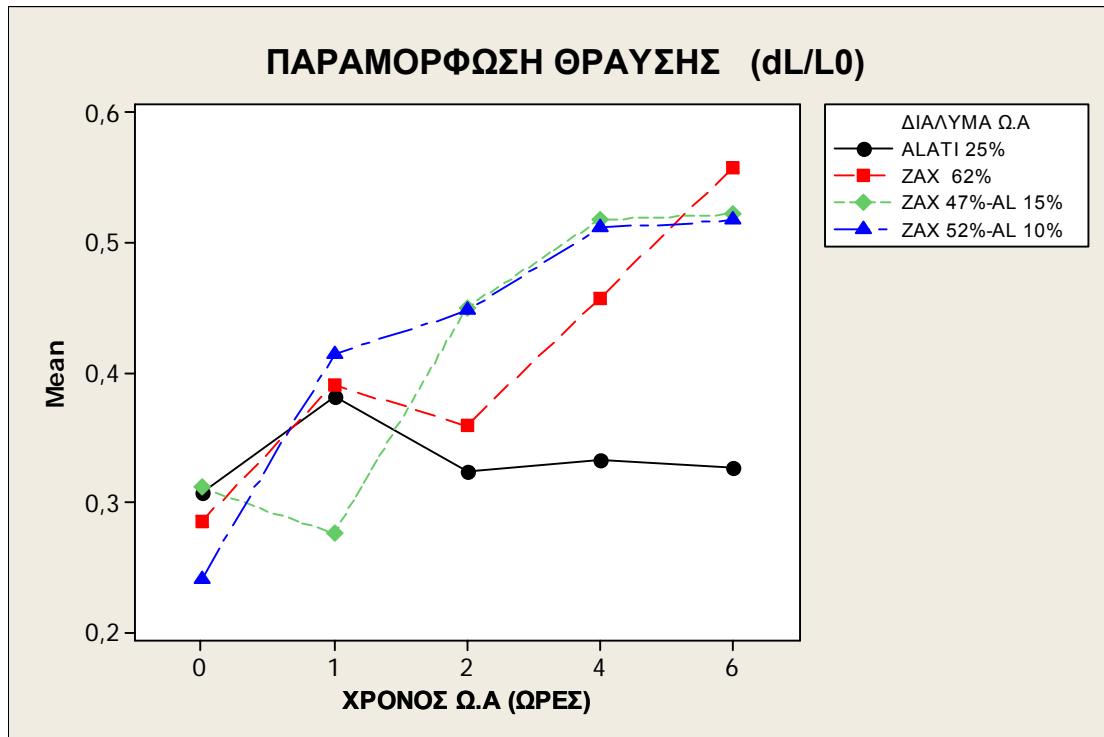
5.8. Παραμόρφωση θραύσης (failure strain)

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν την παραμόρφωση θραύσης της πατάτας ($p < 0,05$)



Σχήμα 14.: Μέσοι όροι της παραμόρφωσης θραύσης στα διάφορα διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο **σχήμα 14** φαίνονται οι μέσοι όροι της παραμόρφωσης θραύσης σε σχέση με τα διαφορετικά διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης, και τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης και στο **σχήμα 15** παρουσιάζονται αναλυτικά η εξέλιξη της παραμόρφωσης θραύσης σε κάθε διάλυμα .



Σχήμα 15. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στην δύναμη θραύσης

Παρατηρούμε ότι :

- Η παραμόρφωση θραύσης των νωπών δειγμάτων παρουσιάζει διαφορετικούς μέσους όρους που κυμαίνονται μεταξύ 0,24 και 0,31.
- Με την αύξηση του χρόνου Ω.Α παρατηρείται αύξηση του μέσου όρου της παραμόρφωσης θραύσης όπως προκύπτει από το σύνολο των διαλυμάτων.
- Η εξέλιξη της παραμόρφωσης θραύσης σε σχέση με τον χρόνο Ω.Α διαφοροποιείται σε κάθε διάλυμα και αυτό φαίνεται ιδιαίτερα στην πρώτη ώρα
- Στις 2 και 4 ώρες Ω.Α μεγαλύτερη παραμόρφωση θραύσης παρουσιάζουν τα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζαχαρόζης – αλατιού που μένει σταθερή μεταξύ 4 και 6 ωρών (0,52) και την μεγαλύτερη παραμόρφωση (0,56) την παρατηρούμε στις 6 ώρες Ω.Α στο διάλυμα της σακχαρόζης
- Την μικρότερη παραμόρφωση θραύσης εμφάνισαν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα 25% NaCl όπου με εξαίρεση την πρώτη ώρα (0,38) η παραμόρφωση έμεινε σχεδόν σταθερή (0,33)

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και την παραμόρφωση θραύσης των δειγμάτων (**πίνακας 1**), παρατηρούμε ότι η παραμόρφωση θραύσης εμφανίζει στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) θετική συσχέτιση, με την απώλεια νερού 0,700, την μείωση βάρους 0,716, τον βαθμό συρρίκνωσης 0,685 και αρνητική συσχέτιση -0,695 με τη τελική υγρασία των δειγμάτων.

Στο διάγραμμα 3, του παραρτήματος παρουσιάζεται αναλυτικά για κάθε ωσμωτικό διάλυμα η επίδραση της υγρασίας και της συρρίκνωσης στην δύναμη θραύσης και στο διάγραμμα 1 η σχέση δύναμης θραύσης – παραμόρφωσης

Συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

Ότι η ωσμωτική αφυδάτωση με την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας από την απώλεια νερού και την συρρίκνωση που προκαλείται, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης για την θραύση της οσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας.

.Η μεγαλύτερη παραμόρφωση θραύσης παρουσιάζεται στα δείγματα που αφυδατώθηκαν για 4 και 6 ώρες στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης –αλατιού όπου έχουν παρατηρηθεί μικρότερες τελικές υγρασίες και μεγαλύτερη συρρίκνωση .και μικρή αντίστοιχα παραμόρφωση στα δείγματα που αφυδατώθηκαν σε μικρότερο βαθμό στο διάλυμα NaCl 25% .

Η ασθενής θετική συσχέτιση (0,32) μεταξύ παραμόρφωσης -δύναμης θραύσης δείχνει μεν αύξηση της δύναμης θραύσης όταν αυξάνει η παραμόρφωση αλλά για κάθε διάλυμα Ω.Α η εξέλιξη είναι τελείως διαφορετική και πιθανότατα οφείλεται στην διαφορετική σύσταση των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας σε κάθε μεταχείριση.

Ο Pitt 1992 αναφέρει ότι λάθος μέτρηση 1% στο αρχικό μήκος του δείγματος μεταφράζεται σε 10% λάθος στην παραμόρφωση και ότι τα λάθη στη παραμόρφωση αυξάνουν την διακύμανση των τιμών στον προσδιορισμό της παραμόρφωσης θραύσης

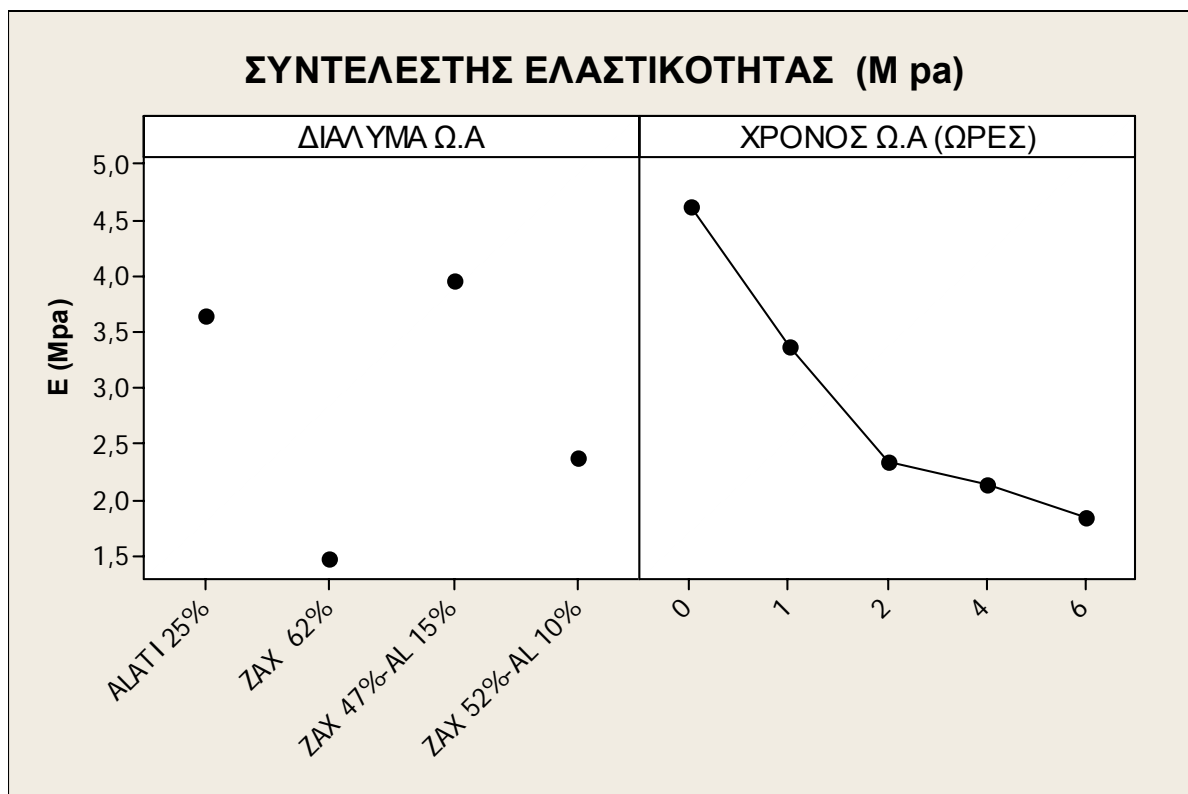
Οι Lin and Pitt 1986 όπως προαναφέρθηκε στην συζήτηση της δύναμης θραύσης διαπίστωσαν ότι η παραμόρφωση αυξάνει με την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και εξαρτάται από την ταχύτητα παραμόρφωσης (strain rate), καθώς και ότι οι μετρήσεις της παραμόρφωσης υπόκεινται σε μεγαλύτερη ανακρίβεια σε σχέση με την εφαρμοζόμενη δύναμη θραύσης και τον αρχικό συντελεστή ελαστικότητας

Ο Chiralt et al 2001 αναφέρουν ότι το επίπεδο της πίεσης σπαργής ορίζει την μετάβαση στο μοντέλο θραύσης. Όσο χαμηλότερη είναι η πίεση τόσο μεγαλύτερη είναι η επιμήκυνση του δείγματος δηλαδή αυξάνει η παραμόρφωση όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 2.4 της σελίδας...

Αποτελέσματα από την δοκιμή συμπίεσης 10% –χαλάρωσης

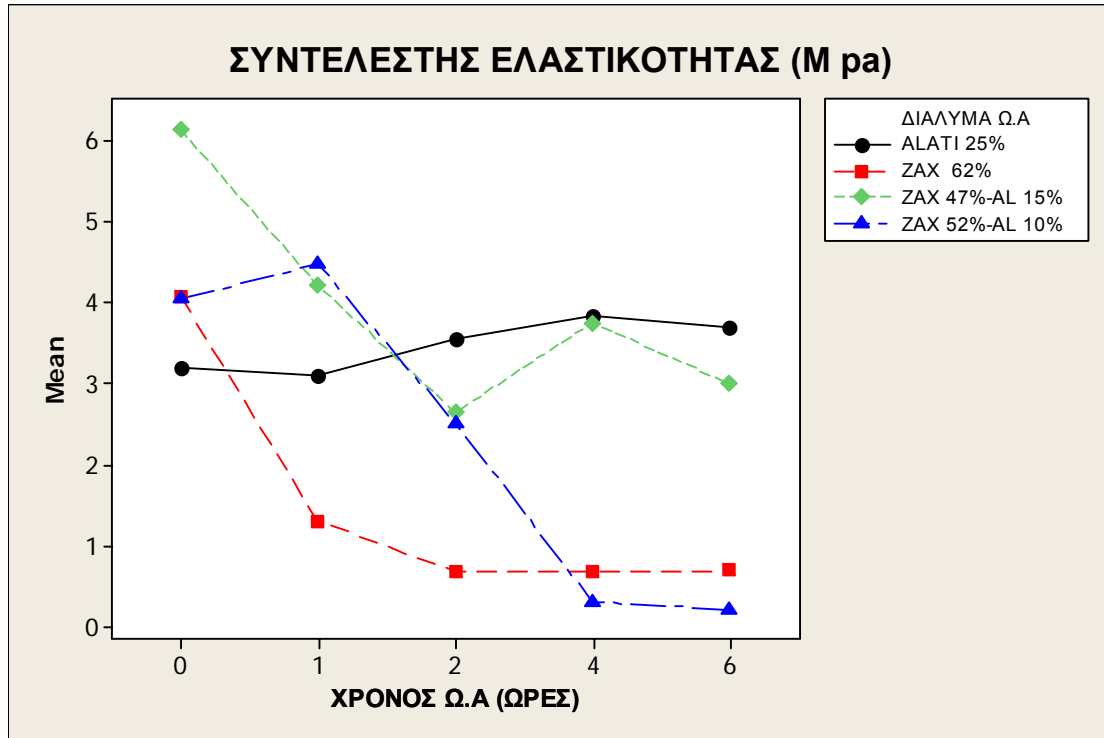
5.9.Συντελεστής ελαστικότητας (Young modulus of elasticity)

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν τον συντελεστή ελαστικότητας της πατάτας ($p < 0,05$).



Σχήμα 16. Μέσοι όροι του συντελεστή ελαστικότητας της πατάτας στα διάφορα διαλύματα και χρόνους ωσμωτικούς αφυδάτωσης.

Στο **σχήμα 16** φαίνονται οι μέσοι όροι του συντελεστή ελαστικότητας των δειγμάτων πατάτας, σε σχέση με τα διαφορετικά διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης, και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης και στο **σχήμα 17** παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη του συντελεστή ελαστικότητας σε κάθε διάλυμα .



Σχήμα 17. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στον συντελεστή ελαστικότητας

Παρατηρούμε ότι:

- Ο συντελεστής ελαστικότητας των νωπών δειγμάτων κάθε διαλύματος παρουσιάζει διαφορετικούς μέσους όρους που κυμαίνονται από 3,09 έως 6,15 Mpa, ενώ παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις των μέσων όρων στο σύνολο των επί μέρους ομαδοποιήσεων .
- Όπως προκύπτει από τους μέσους όρους όλων των διαλυμάτων Ω,Α παρατηρείται γενική τάση μείωσης του συντελεστή ελαστικότητας με την αύξηση του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης .με εξαίρεση το NaCl 25%
- Η εξέλιξη του συντελεστή ελαστικότητας σε σχέση με τον χρόνο Ω.Α. είναι διαφορετική σε κάθε διάλυμα

Έτσι στα επί μέρους διαλύματα :

- Τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα 25%NaCl εμφανίζουν τις μικρότερες μεταβολές της ελαστικότητας με τιμές από 3,19 έως 3,84 μεταξύ των χρόνων Ω.Α με **τάση αύξησης** καθώς αυξάνει ο χρόνος Ω.Α.
- Τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα ζαχαρόζης 62% δείχνουν σημαντική μείωση της ελαστικότητας στην πρώτη ώρα Ω.Α (74,2%) μικρή μείωση στις 2 (Y=68,5%)ώρες και σταθερή τιμή από τις 2(Y=58,5%) έως τις 6 (Y=50,4)%ώρες. Μρα (στην παρένθεση είναι οι αντίστοιχες υγρασίες των δειγμάτων)
- στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο μεικτό διάλυμα 15% NaCl-47%Ζαχ ο συντελεστής ελαστικότητας μειώνεται μέχρι τις 2 ώρες (Y=52%) αυξομειώνεται στην συνέχεια και στις 6 ώρες Ω.Α (Y=32,7%) διατηρεί υψηλή τιμή 3,01 Μρα
- στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο μεικτό διάλυμα 10% NaCl-52%Ζαχ ο συντελεστής ελαστικότητας την πρώτη ώρα (Y=69,7%) αυξάνεται ενώ πολύ μεγάλη μείωση παρατηρείται μεταξύ 1ης και 4^{ης} ώρας με τις τιμές των 4 (Y=51,5%),και 6 ωρών (Y=49,8%) είναι οι μικρότερες στο σύνολο των μέσων όρων (0,31 , 0,21 Μρα)

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και τον συντελεστή ελαστικότητας των δειγμάτων (**πίνακας 1**), παρατηρούμε ότι ο συντελεστής ελαστικότητας εμφανίζει στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) αρνητική συσχέτιση , με την απώλεια νερού -0,459 , την μείωση βάρους -0,510 , τον βαθμό συρρίκνωσης- 0,449 και θετική συσχέτιση 0,348 με τη τελική υγρασία των δειγμάτων

Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα της ελαστικότητας λόγω του διαφορετικού αρχικού μέσου όρου των νωπών, παρουσιάζονται και ως κλάσμα της αρχικής τιμής στα διαγράμματα Π9,Π10.Π4β του παραρτήματος

Συμπεράσματα .

Η διαφορετική ελαστικότητα που παρουσιάζουν τα δείγματα οφείλεται στις διαφορετικές παρτίδες της πρώτης ύλης.

Η σύσταση των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων κάθε μεταχείρισης διαφέρει εξ αιτίας του διαφορετικού βαθμού αφυδάτωσης που προκαλείται καθώς και της διαφορετικής ποσότητας και αναλογίας ζάχαρης –χλωριούχου νατρίου που προσλαμβάνονται . Αυτή η διαφορετικότητα στη τελική σύσταση δίνει και μεγάλες διαφοροποιήσεις στον συντελεστή ελαστικότητας

Έτσι :Στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25% αυξάνει ο συντελεστής ελαστικότητας λόγω της μικρής απώλειας νερού και της πρόσληψης αποκλειστικά χλωριούχου νατρίου

Στα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα σακχαρόζης 62% ή στα μεικτά διαλύματα σακχαρόζης – χλωριούχου νατρίου η ελαστικότητα μειώνεται καθώς αυξάνεται ο βαθμός αφυδάτωσης γρήγορα για το πρώτο διάστημα που απομακρύνεται η μεγαλύτερη ποσότητα νερού και ελάχιστα στην συνέχεια. χωρίς να υπάρχει κοινό όριο υγρασίας στην μετάβαση από την γρήγορη στην αργή μεταβολή .

Πιθανά σφάλματα υπεισέρχονται στον υπολογισμό του συντελεστή ελαστικότητας από τον διαφορετικό βαθμό συμπίεσης που προκύπτει, λόγω των προβλημάτων στο χειρισμό των δειγμάτων κατά τις μετρήσεις στο INSTRON. (τέτοια σφάλματα είναι ο τελικός βαθμός παραμόρφωσης που δεν είναι ο ίδιος σε κάθε μέτρηση ενώ η αρχική ρύθμιση είναι ίδια στο 10% και είναι μεγαλύτερος του 8% που οι Lin and Pitt 1986 θεωρούν όριο της γραμμικότητας του διαγράμματος συμπίεσης-παραμόρφωσης για την πατάτα).

Οι Kapsalis et al 1972 σε δοκιμές κάμψης φρούτων και λαχανικών δείχνουν ότι η ξήρανση και η απώλεια της σπαργής αντανακλούν στην μείωση του συντελεστή ελαστικότητας(Krokida et al 1998)

Οι Krokida et al 1998 σε δείγματα πατάτας στα οποία έγινε ξήρανση με αέρα διαπίστωσε ότι σε περιοχές υψηλής υγρασίας η αφαίρεση νερού οδηγεί στην μείωση της ελαστικότητας καθώς το προϊόν αποκτά ποιο συμπαγή δομή ενώ σε περιοχές χαμηλής υγρασίας το προϊόν ανακτά την ελαστικότητά του έχοντας (collapse structure)

Οι Lin and Pitt 1986 αναφέρουν ότι , σε δείγματα πατάτας στα όποια αυξήθηκε η μειώθηκε η σπαργή με ενυδάτωση ή ωσμωτική αφυδάτωση αντίστοιχα , ο συντελεστής ελαστικότητας έδειξε μια σύνθετη συμπεριφορά: αρχικά μειώνεται καθώς μειώνεται το επίπεδο υγρασίας ενώ κάτω από κάποιο όριο υγρασίας δεν μεταβάλλεται πλέον σημαντικά και είναι ανεξάρτητος από την ταχύτητα παραμόρφωσης.

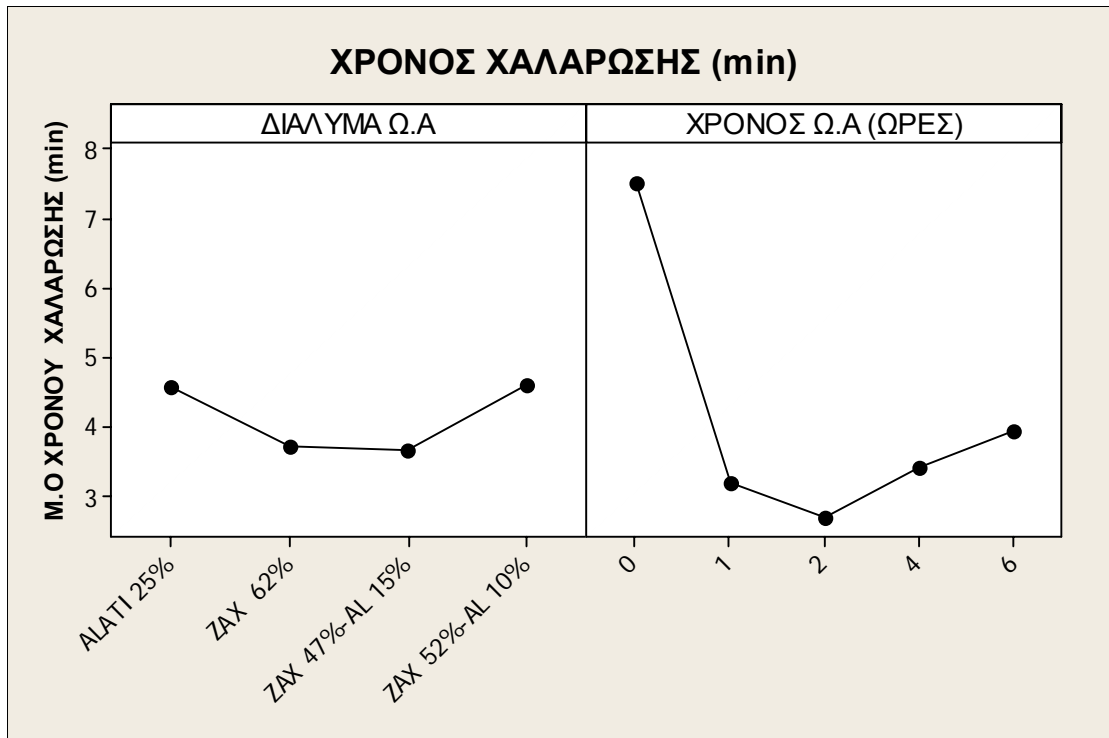
Ο Pitt .1992 σε δοκιμές συμπίεσης παρόμοιων όπως πάνω δειγμάτων αναφέρει ότι ο συντελεστής ελαστικότητας του Young,σε μικρές παραμορφώσεις ήταν σχεδόν ανάλογος της πίεσης σπαργής με σταθερά αναλογίας 3,5

Οι Chiralt.et al 2001 αναφέρουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση προκαλεί μείωση στη σχέση δύναμης συμπίεσης-παραμόρφωσης , και το αποτέλεσμα είναι η μείωση του συντελεστή ελαστικότητας , και η αύξηση του ιξωδοελαστικού χαρακτήρα των οσμωτικά αφυδατωμένων φρούτων.

Κάποιοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι δείγματα διαφορετικών διαστάσεων παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες του ίδιου υλικού για δείγματα πατάτας η μείωση στο μήκος ή στην διάμετρο έδωσε μικρότερες τιμές στην δύναμη θραύσης αλλά δεν επηρέασε τον συντελεστή ελαστικότητας (Pitt 1992)

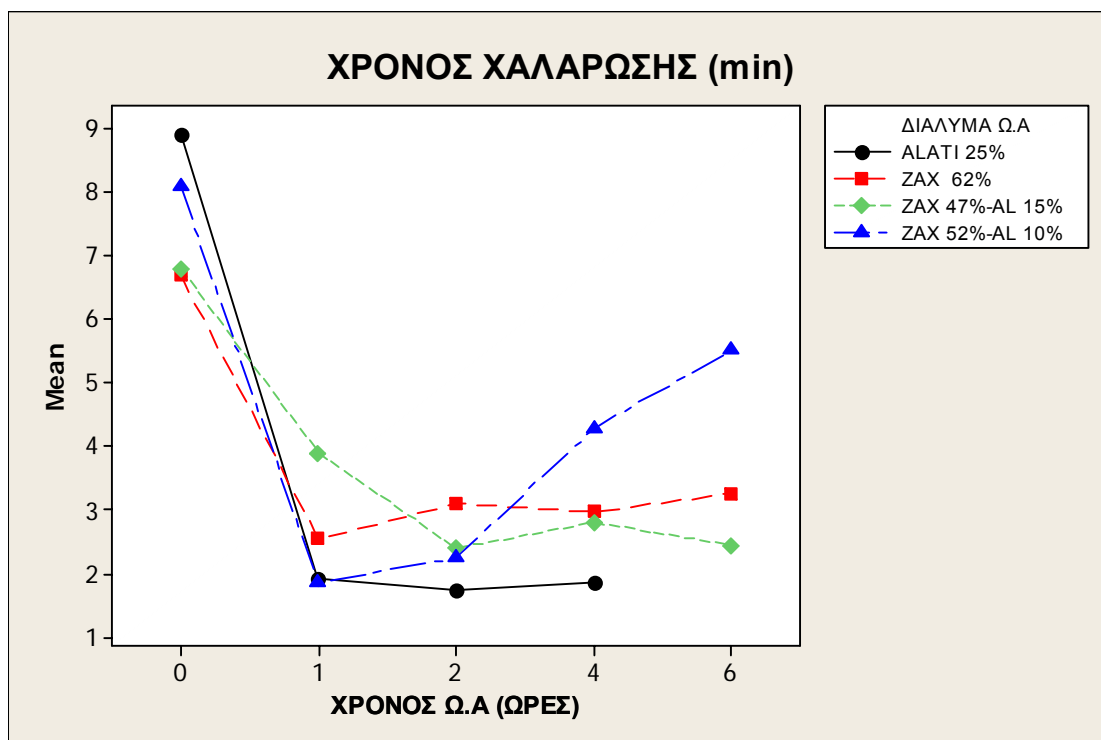
5.10.Χρόνος χαλάρωσης.

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν τον χρόνο χαλάρωσης της πατάτας ($p < 0,05$)



Σχήμα 18. Μέσοι όροι χρόνου χαλάρωσης στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο **σχήμα 18** φαίνονται οι μέσοι όροι του χρόνου χαλάρωσης των δειγμάτων πατάτας, σε σχέση με τα διαφορετικά διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης, και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης και στο **σχήμα 19** παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη του χρόνου χαλάρωσης σε κάθε διάλυμα



Σχήμα 19. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στον χρόνο χαλάρωσης.

Παρατηρούμε ότι

- Ο χρόνος χαλάρωσης των νωπών δειγμάτων κάθε διαλύματος παρουσιάζει διαφορετικούς μέσους όρους που κυμαίνονται από 8,91 έως 6,65 Min.
- Η μεγαλύτερη μείωση του χρόνου χαλάρωσης στο σύνολο των διαλυμάτων συμβαίνει την πρώτη ώρα ωσμωτικής αφυδάτωσης
- Από τις καμπύλες εξέλιξης του χρόνου χαλάρωσης προκύπτει ότι (με εξαίρεση το διάλυμα 10% NaCl-52% ζαχαρόζης) μετά την πρώτη ώρα ο χρόνος χαλάρωσης παραμένει σχεδόν σταθερός μέχρι τις 6 ώρες Ω.Α.
- Την μεγαλύτερη μείωση παρουσιάζουν τα δείγματα που αφυδατώθηκαν σε 25% NaCl με χρόνο χαλάρωσης μικρότερο από 2 min
- Στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα 10% NaCl-52% ζαχαρόζης παρατηρείται αύξηση του χρόνου χαλάρωσης μετά την μία ώρα και μέχρι τις 6 ώρες Ω.Α

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και τον χρόνο χαλάρωσης των δειγμάτων (**πίνακας 1**), παρατηρούμε ότι ο χρόνος χαλάρωσης εμφανίζει στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) αρνητική συσχέτιση, με την απώλεια νερού $-0,620$, την μείωση βάρους $-0,619$, τον βαθμό συρρίκνωσης $-0,705$ και θετική συσχέτιση $0,503$ με τη τελική υγρασία των δειγμάτων.

Συμπεράσματα "

Ο χρόνος χαλάρωσης μειώνεται σημαντικά στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ακόμη και με μικρή αφαίρεση υγρασίας ιδιαίτερα από πρώτη ώρα Ω.Α (κατά μέσο όρο μειώνεται κατά 75% με 13% μείωση της αρχικής υγρασίας)

Σε μικρότερα επίπεδα υγρασίας των οσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων η αύξηση του βαθμού αφυδάτωσης δεν προκαλεί επί πλέον μείωση του χρόνου χαλάρωσης. αλλά υπάρχει τάση σταθεροποίησης ή και αύξησης οποία είναι πολύ μικρή σε όλα τα διαλύματα με εξαίρεση τα δείγματα που αφυδατώθηκαν με μεικτά διάλυμα ζαχαροζης 52%-NaCl 10% στα οποία παρατηρείται σημαντική αύξηση του χρόνου χαλάρωσης κάτω από ποσοστό υγρασίας 70%

Από τα διάγραμμα αλληλεπίδρασης της υγρασίας με τον συντελεστή ελαστικότητας και τον χρόνο χαλάρωσης προκύπτει ότι αρχικά με την μείωση της υγρασίας μειώνονται τόσο ο χρόνος χαλάρωσης όσο και ο συντελεστής ελαστικότητας όμως σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας έχουν αντίστροφη σχέση: όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ελαστικότητας (που προκύπτει επειδή καταγράφεται μικρή δύναμη συμπίεσης) τόσο ο χρόνος χαλάρωσης είναι μεγαλύτερος

Στις καμπύλες συμπίεσης –χαλάρωσης του σχήματος 2.2(Stefee 1996) φαίνεται ότι όσο μικρότερη είναι η τελική δύναμη τόσο αυξάνει ο ιξώδης χαρακτήρας των υλικών.

Σύμφωνα με τους Krokida et al 1998 σε δοκιμές χαλάρωσης που έγιναν σε δείγματα πατάτας των οποίων η υγρασία μειώθηκε με ξήρανση προκύπτει ότι

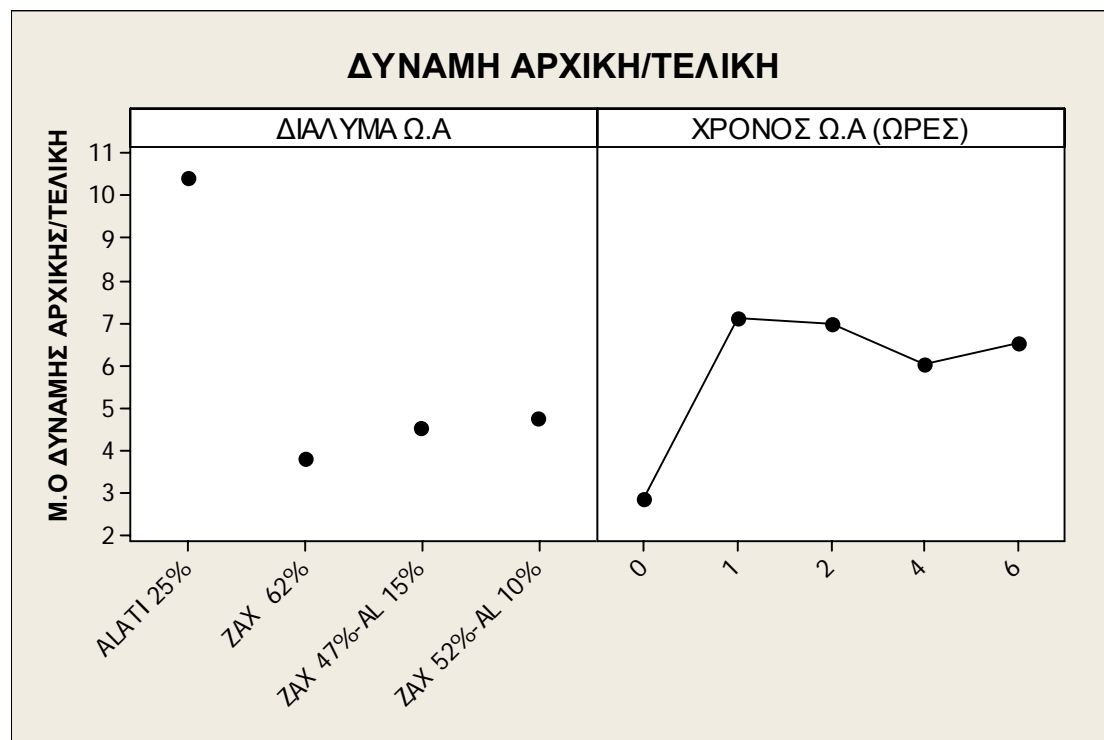
ο χρόνος χαλάρωσης είναι περισσότερο εξαρτώμενος από την περιεχόμενη υγρασία παρά από τον βαθμό συμπίεσης(deformation rate) , και επομένως η αφυδάτωση τείνει να προκαλεί μείωση στο χρόνο χαλάρωσης μέχρι ένα σημείο περιεχόμενης υγρασίας. Σε περαιτέρω επίπεδα αφυδάτωσης και απώλεια υγρασίας , ο χρόνος χαλάρωσης τείνει να παρουσιάζει αύξηση.

Ακόμη οι Krokida et al 2000 σε δοκιμές συμπίεσης –χαλάρωσης σε ωσμωτικά αφυδατωμένα μήλα και μπανάνες στα οποία επί πλέον μειώθηκε η υγρασία με ξήρανση σε ζεστό αέρα διαπίστωσε ότι σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας η επί πλέον μείωση της υγρασίας αυξάνει τον χρόνο χαλάρωσης ,και την εναπομείνουσα δύναμη. Από την παραπάνω μελέτη συμπεραίνουν ότι η οσμωτική αφυδάτωση και η πρόσληψη ζάχαρης τείνει να αυξήσει την ιξώδη φύση των φρούτων και να μειώσει την ελαστικότητα τους προκαλώντας πλαστικότητα της δομής.

Οι Chiralt et al 2001 αναφέρουν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση προκαλεί αύξηση του ιξωδοελαστικού χαρακτήρα των οσμωτικά αφυδατωμένων φρούτων.

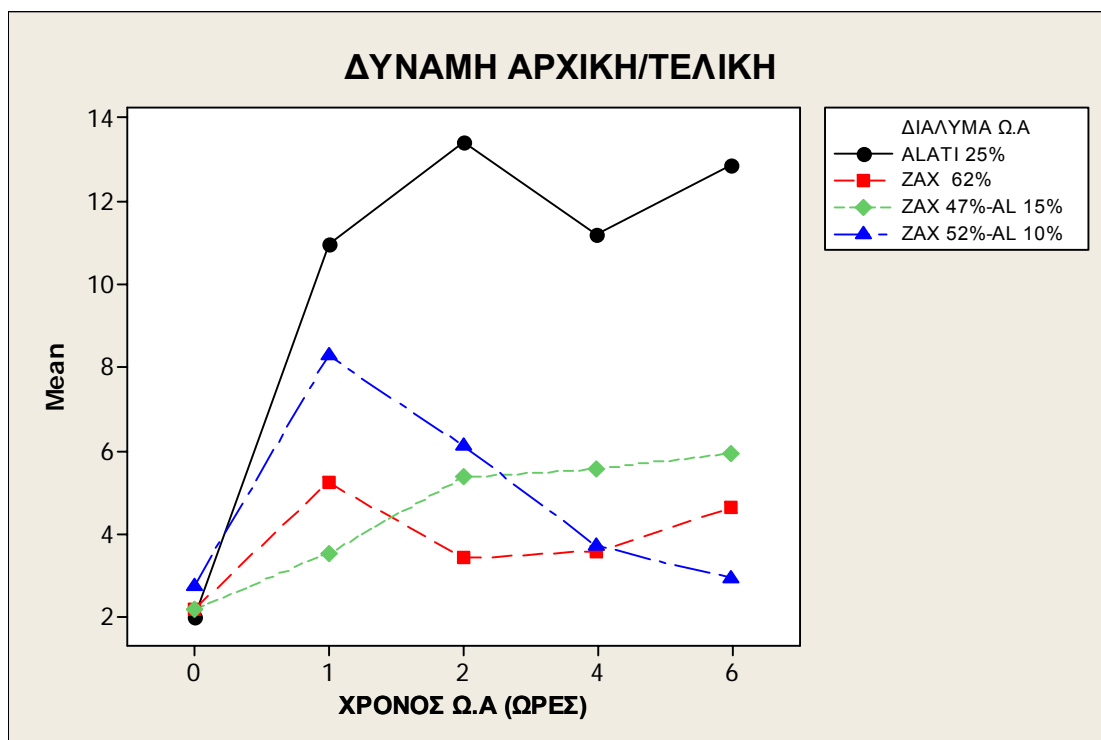
5.11. Αρχική / Τελική δύναμη

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων GLM (General Linear Model) έδειξε ότι οι εξεταζόμενοι παράγοντες (είδος διαλύματος – χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης) επηρεάζουν τη σχέση της αρχικής/ τελική δύναμης της πατάτας ($p < 0,05$)



Σχήμα 20. Μέσοι όροι αρχικής προς τελικής δύναμης χαλάρωσης στα διάφορα διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στο **Σχήμα 20** φαίνονται αναλυτικά οι μεταβολές στην σχέση αρχικής προς τελική δύναμης χαλάρωσης στα διαφορετικά διαλύματα σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης .και στο **σχήμα 21** παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη της παραμόρφωσης θραύσης σε κάθε διάλυμα



Σχήμα 11. Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στη σχέση αρχικής /τελικής δύναμης

Παρατηρούμε :

- Το πηλίκο αρχικής /τελική δύναμης παρουσιάζει μικρές διαφορές μεταξύ των νωπών δειγμάτων πατάτας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε διάλυμα, καθώς κυμαίνεται από 1,99 έως 2,73
- Τα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα χλωριούχου νατρίου 25% εμφανίζουν τον μεγαλύτερο λόγο αρχικής προς τελική δύναμης σε όλους τους χρόνους Ω.Α καθώς και την μεγαλύτερη αύξηση στις δυο πρώτες ώρες Ω.Α
- Η σχέση της αρχικής /τελική δύναμης εξελίσσεται διαφορετικά σε κάθε διάλυμα

έτσι παρατηρούμε:

- Στο διάλυμα 10% NaCl-52% ζαχαρόζης αρχική αύξηση στην πρώτη ώρα και συνεχή μείωση μέχρι τον τελικό χρόνο των 6 ωρών Ω,Α

- Ότι στο διάλυμα 62% ζαχαρόζης έχουμε συνεχείς αυξομειώσεις με την τελική σχέση να βρίσκεται περίπου κοντά στην αντίστοιχη της πρώτης ώρας .
- Στο μεικτό διάλυμα 15% NaCl-47% ζαχαρόζης Η μεγαλύτερη αύξηση στο πηλίκο παρατηρείται τις δυο πρώτες ώρες μικρή είναι στην συνέχεια η αύξηση μέχρι τις 6 ώρες Ω.Α

Από τον έλεγχο συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων που αφορούν στην μεταφορά μάζας και τη σχέση αρχικής/τελική δύναμη χαλάρωσης των δειγμάτων (πίνακας 1), παρατηρούμε ότι η σχέση αρχικής/τελικής δύναμης δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση , με την απώλεια νερού , την μείωση βάρους, τον βαθμό συρρίκνωσης και την τελική υγρασία των δειγμάτων.

Υπάρχει στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) θετική συσχέτιση 0,669 μεταξύ της αρχικής/τελικής δύναμης και του χρόνου χαλάρωσης (πίνακας 2)

Συμπεράσματα:

Όσο μικραίνει το ποσοστό της εναπομείνουσας δύναμης σε σχέση με την αρχική δύναμη τόσο μεγαλώνει η σχέση αρχικής δύναμης/τελικής

Η σχέση αρχικής δύναμης/τελικής δύναμη έχει την ίδια περίπου εξέλιξη με τον χρόνο χαλάρωσης

Οι ομοιότητες μεταξύ αυτών των παραγόντων είναι ότι προκύπτουν από την εξέλιξη της ίδιας καμπύλης συμπίεσης –χαλάρωσης .

Οι διαφορές είναι ότι ο μεν χρόνος χαλάρωσης υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης και δείχνει τον χρόνο που χρειάζεται για φτάσει η εναπομείνουσα δύναμη σε ποσοστό 37% της αρχικής (όπως προκύπτει εξ ορισμού)

ενώ η σχέση αρχικής /τελικής δύναμης προκύπτει από την εναπομείνουσα δύναμη μετά από χρόνο 2 min που αντιστοιχεί σε πολύ μεγαλύτερη μείωση της εναπομένουσας δύναμης και φθάνει σε ποσοστό ακόμη και μικρότερο του 10% της αρχικής .

Στις εργασίες Krokida et al 1998 .κατά τις δόκιμες συμπίεσης χαλάρωσης σε δείγματα καρότων και πατάτας διαπιστώθηκε ότι η εναπομείνουσα δύναμη και ο χρόνος χαλάρωσης φαίνεται να εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε υγρασία. Η ξήρανση τείνει να μειώσει την εναπομείνουσα δύναμη και τον

χρόνο χαλάρωσης μέχρι μια συγκεκριμένη περιεκτικότητα υγρασίας(1,7 για τα καρότα και 1,9kg/kg για τις πατάτες υπολογισμένα σε ξηρή βάση) .Επί πλέον αφαίρεση νερού τείνει να αυξήσει την εναπομείνασα δύναμη και τον χρόνο χαλάρωσης και των δύο υλικών .

5.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ωσμωτική αφυδάτωση πατάτας με χρήση διαλυμάτων NaCl 25%, Ζαχαρόζης 62% ,και μεικτών διαλυμάτων : Ζαχαρόζης 47%-NaCl 15% και Ζαχαρόζης 52%- NaCl 10%

Στα παραπάνω διαλύματα σε σταθερή θερμοκρασία 350 εμβαπτίστηκαν πατάτες κομμένες σε ροδέλες πάχους περίπου 1cm και διαμέτρου 3,5 cm για χρόνο 1 ,2,4,6 ώρες

Από τα αποτελέσματα της μεταφοράς μάζας που συμβαίνει κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Μεγαλύτερη **απώλεια νερού** παρουσιάζουν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα ζάχαρης-αλατιού και ιδιαίτερα στο διάλυμα Ζαχ. 47%-NaCl 15% Στην πρώτη ώρα Ω..Α παρατηρείται η μεγαλύτερη απώλεια νερού ενώ ο ρυθμός σταθερά μειώνεται στις επόμενες ώρες και φτάνει σε ποσοστό 68,8% σε 6 ώρες

Την μικρότερη απώλεια νερού εμφάνισαν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25% Η μεγαλύτερη απώλεια νερού παρατηρήθηκε στην πρώτη ώρα Ω.Α ενώ στην συνέχεια ο ρυθμός έγινε εξαιρετικά αργό και συνολικά ως τις 6 ώρες έφτασε μόλις στο 16,5%

Ως προς την **πρόσληψη στερεών** από τις πατάτες παρατηρείται ότι στο μικτό διάλυμα Ζαχ. 47%-NaCl 15% η πρόσληψη στερεών είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε όλους τους χρόνους Ω.Α. Ακολουθεί το διάλυμα 25% NaCl και κοντά το μικτό διάλυμα 10%NaCl-52% ζαχ. Στο διάλυμα ζαχαρόζης 62% η πρόσληψη στερεών παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές σε όλους τους χρόνους

Σαν συνέπεια των παραπάνω μικρότερη **τελική υγρασία** είχαν οι πατάτες που αφυδατώθηκαν στα μεικτά διαλύματα και μεταξύ τους την μικρότερη το διάλυμα με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα χλωριούχου νατρίου

Η ωσμωτική αφυδάτωση είχε σαν αποτέλεσμα συρρίκνωση του αρχικού όγκου των δειγμάτων ,η οποία συσχετίζεται τόσο ποσοτικά όσο και χρονικά με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ιδιαίτερα με την απώλεια νερού και βάρους

Και επομένως είναι μεγαλύτερη και φτάνει στο ποσοστό 67,16 % μείωσης του αρχικού όγκου στο ωσμωτικό διάλυμα Ζαχαρόζης 47%-NaCl 15% ενώ για τον ίδιο χρόνο στο διάλυμα 25% χλωριούχου νατρίου η μείωση φτάνει μόλις στο 35,7% του αρχικού όγκου.

Στα δείγματα πατάτας μετρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες με το INSRON όπου εφαρμόστηκαν

Α Δοκιμές συμπίεσης 75% (υπόλοιπο αρχικού 25%) κατά την οποία υπολογίστηκαν η δύναμη και η παραμόρφωση θραύσης.

Ως προς την **δύναμη θραύσης** το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η ωσμωτική αφυδάτωση με την μείωση περιεχόμενης υγρασίας και την συρρίκνωση που προκαλείται, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δύναμης που προκαλεί την θραύση της οσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας.

Η διαφορετική εξέλιξη της δύναμης θραύσης με την αύξηση του χρόνου Ω.Α στα δειγμάτων που αφυδατώθηκαν σε διαφορετικά ωσμωτικά διαλύματα οφείλεται στις διαφορές τους ως προς τον βαθμό αφυδάτωσης και ως προς ποσότητα και το είδος των προσλαμβανόμενων στερεών.

Η μεγαλύτερη δύναμη θραύσης παρουσιάζεται στις 4 και 6 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης στα μεικτά διαλύματα όπου έχουν παρατηρηθεί μικρότερες τελικές υγρασίες και μεγαλύτερη συρρίκνωση .

Η δύναμη θραύσης δεν διαφοροποιείται σημαντικά στα δείγματα πατάτας που αφυδατώθηκαν σε διάλυμα NaCl 25% καθώς δεν διαφοροποιείται σημαντικά μετά από την πρώτη ώρα Ω.Α η υγρασία και ο βαθμός συρρίκνωσης

Ως προς την **παραμόρφωση θραύσης** συμπεραίνουμε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης για την θραύση της οσμωτικά αφυδατωμένης πατάτας.

Η μεγαλύτερη παραμόρφωση θραύσης παρουσιάζεται στα δείγματα που αφυδατώθηκαν για 4 και 6 ώρες στα διαλύματα όπου έχουν παρατηρηθεί μικρότερες τελικές υγρασίες και μεγαλύτερη συρρίκνωση .και μικρή αντίστοιχα παραμόρφωση στα δείγματα που αφυδατώθηκαν σε μικρότερο βαθμό στο διάλυμα NaCl 25% .

Η ασθενής θετική συσχέτιση (0,32) μεταξύ παραμόρφωσης -δύναμης θραύσης δείχνει μεν αύξηση της δύναμης θραύσης όταν αυξάνει η

παραμόρφωση αλλά για κάθε διάλυμα Ω.Α η εξέλιξη είναι τελείως διαφορετική και πιθανότατα οφείλεται στην διαφορετική σύσταση των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας σε κάθε μεταχείριση.

B. Δοκιμές συμπίεσης-χαλάρωσης (10%-120 min) από τις οποίες υπολογίστηκαν η ελαστικότητα, ο χρόνος χαλάρωσης, καθώς και η σχέση αρχικής, τελικής δύναμης.

Ο διαφορετικός **συντελεστής ελαστικότητας** που παρουσιάζουν τα νωπα δείγματα οφείλεται στις διαφορετικές παρτίδες της πρώτης ύλης.

Όπως έχει προαναφερθεί η σύσταση των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων κάθε μεταχείρισης διαφέρει με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στην εξέλιξη του συντελεστή ελαστικότητας με τον χρόνο Ω.Α.

Έτσι στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στο διάλυμα NaCl 25% αυξάνει ο συντελεστής ελαστικότητας

Στα δείγματα που αφυδατώθηκαν στα άλλα διαλύματα η ελαστικότητα μειώνεται καθώς αυξάνεται ο βαθμός αφυδάτωσης γρήγορα για το πρώτο διάστημα και ελάχιστα στην συνέχεια. χωρίς να υπάρχει κοινό όριο υγρασίας στην μετάβαση από την γρήγορη στην αργή μεταβολή.

Ο **χρόνος χαλάρωσης** μειώνεται σημαντικά στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα ακόμη και με μικρή αφαίρεση υγρασίας ιδιαίτερα από την πρώτη ώρα Ω.Α

Σε μικρότερα επίπεδα υγρασίας των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων η αύξηση του βαθμού αφυδάτωσης δεν προκαλεί επί πλέον μείωση του χρόνου χαλάρωσης, αλλά υπάρχει τάση σταθεροποίησης ή και αύξησης οποία είναι πολύ μικρή σε όλα τα διαλύματα με εξαίρεση τα δείγματα που αφυδατώθηκαν με μεικτά διάλυμα ζαχαροζης 52%-NaCl 10% στα οποία παρατηρείται σημαντική αύξηση του χρόνου χαλάρωσης κάτω από ποσοστό υγρασίας 70%

Όσο μικραίνει το ποσοστό της εναπομείνουσας δύναμης σε σχέση με την αρχική δύναμη τόσο μεγαλώνει η σχέση αρχικής δύναμης/τελικής

Η σχέση αρχικής δύναμης/τελικής δύναμη έχει την ίδια περίπου εξέλιξη με τον χρόνο χαλάρωσης

Ως προς την αλληλεπίδρασης μεταξύ της υγρασίας του συντελεστή ελαστικότητας και του χρόνο χαλάρωσης προκύπτει ότι αρχικά με την μείωση της υγρασίας μειώνονται τόσο ο χρόνος χαλάρωσης όσο και ο συντελεστής ελαστικότητας όμως σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας έχουν αντίστροφη σχέση: όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ελαστικότητας (που προκύπτει επειδή καταγράφεται μικρή δύναμη συμπίεσης) τόσο ο χρόνος χαλάρωσης είναι μεγαλύτερος

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ A.S.Szczesniak (1983) Physical properties of foods :what they are and their relation to other food properties In M.Peleg,E.Bargley.Physical properties of foods Avi publishing company Westport,Connecticut p 20-37
- ❖ Barley E.B (1983) large deformations in testing and processing of food materials. In M.Peleg,E.Bargley.Physical properties of foods Avi publishing company Westport,Connecticut p 325-35
- ❖ C.H. Pang and M.G. Scanlon (1996) Mechanical properties of the parenchyma of potato . Can.J,Bot. 74:850-869
- ❖ Chiralt, A., Martinez-Navarrete, N., Martinez-Monzo, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A. and Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes Cryoprotectant effect. Journal of Food Engineering, **49**, 129-135.
- ❖ Dziedzic, S.Z. and Lazar, M.E. (1978). Glucose syrups: Science and Technology.
- ❖ Eren, I. and Kaymak- Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. Journal of Food Engineering, **79**, 344-352.
- ❖ Gonzalez- Monsalve, A., Barabarosa-Canavas, G.V. and Cavalieri, R.P. (1993). Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. Journal of Food Science, **58**, 1114-1124.
- ❖ Hawkes, J and Flink, J.M. (1978). Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. Journal of Food Processing and Preservation, **2**, 265-284.
- ❖ HammanD.D(1983).Structural failure in solid foods In M.Peleg,E.Bargley.Physical properties of foods Avi publishing company Westport,Connecticut p 350-381

- ❖ I.G. Mandala *, E.F. Anagnostaras, C.K. Oikonomou (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics *Journal of Food Engineering* 69, 307–316
- ❖ Khan, Ali A. and Vincent, Julian F.V. (1992) . Compressive stiffness and fracture properties of apple and potato parenchyma. *Journal of Texture Studies*. **24**. 423-435.
- ❖ Krokida, M.K. , Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. (1998) viscoelastic behavior of dehydrated carrot and potato *Drying technology*.16(3-5). 687-703
- ❖ Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. (2000). Effect of pre-treatment on viscoelastic behaviour of potato strips. *Journal of Food Engineering* , **50**, 11-17.
- ❖ Krokida, M.K., Karathanos , V.T., and Maroulis, Z.B., (2000). Effect of osmotic dehydration on viscoelastic properties of apple and banana. *Drying Technology* . **18:4**. 951-966.
- ❖ Lenart, A. and Flink, J.M. (1984). Osmotic concentration of potato. Criteria for the end – point of the osmosis process. *Journal of Food Technology*, **19**, 45-63.
- ❖ Lin, TA-TE., and Pitt, R.E., (1986). Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure. *Journal of Texture Studies*.**17**. 291-313 .
- ❖ M.G. Scanlon,a* C. H. Pang & C. G. Biliaderis. (1996)The effect of osmotic adjustment on the mechanical properties of potato parenchyma. *Food Research International*,Vol. 29, Nos 5-6, pp. 481-488.
- ❖ Mayor, L., Cunha, R.L. and Sereno, AA.M. (2007). Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. *Food Research International*, **40**, 448-460.
- ❖ Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F. and Sereno, A.M. (2006). Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*, **74**, 253-262.

- ❖ Oliveira, A.R., Oliveira, C.J., Hendrickx, M.E., Korr, D. and Gorris, G.M. (1999). Processing Foods: Quality Optimization and Process Assessment, 176-180. CRC Press, London.
- ❖ Pointing, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R. and Stanley, W.L. (1966). Osmotic Dehydration of Fruits. Food technology, **10**, 125-128.
- ❖ Pitt. R.E.(1992) Viscoelastic properties og fruits and vegetables. In M.A.Rao and J.F.Stefee(1992) .Viscoelastic properties of foods Elsevier Applied Science London p 3-76
- ❖ Reeve, R.M., (1970). Relationships of histological structure to texture of fresh and processed fruits and vegetables. Journal of Texture Studies .**1**.247-284 .
- ❖ Reza, G.A., Emam- Djomeh, Z. and Tahmashbi, M. (2009). Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. Transfer Phenomena Laboratory, Technology and engineering, 31587-11167.
- ❖ Roza, M.D., Giroux, F. (2000). Osmotic treatment and problems related to the solution management. Journal of Food Engineering, 49, 223-236.
- ❖ Rao V.N.M (1992)Classification, descriptionand measurements of viscoelastic properties of solid food .In In M.A.Rao and J.F.Stefee(.Viscoelastic properties of foods Elsevier Applied Science London p 3-76
- ❖ Scanlon, M., Pang, C.H., and Biliaderis, C.G.,(1996) . The effect of osmotic adjustment on the mechanical properties of potato parenchyma. Food Research International . **29**. 481-488 .
- ❖ 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.

- ❖ Solomon, W.K., and Jindal V.K., (2003). Comparison of mechanical tests for evaluating textural changes in potatoes during thermal softening. *Journal of Food Texture Studies* .**33**. 529-542 .
- ❖ Toregianni, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, **26**, 59-68.

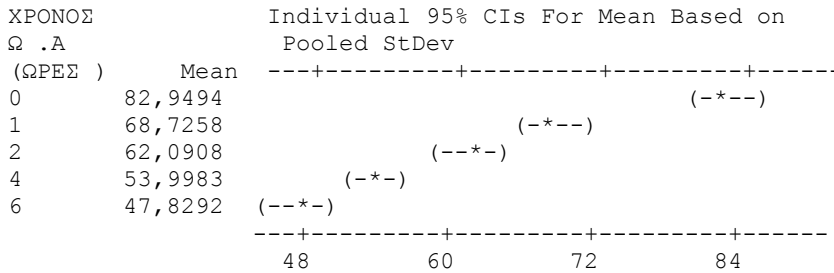
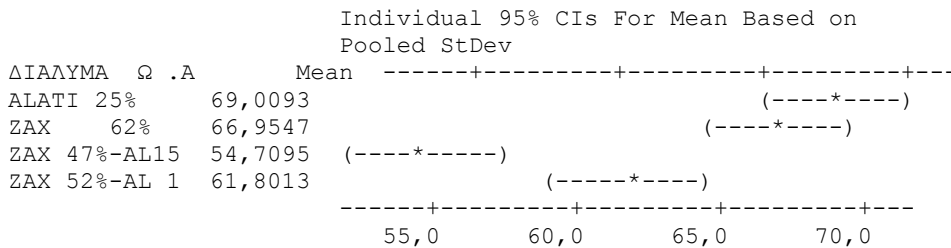
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Two-way ANOVA: ΥΓΡΑΣΙΑ % versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)

Source	DF	SS	MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	1828,0	609,32	22,81	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ	4	8912,4	2228,11	83,39	0,000
Error	52	1389,4	26,72		
Total	59	12129,8			

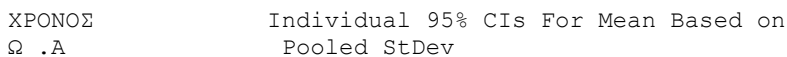
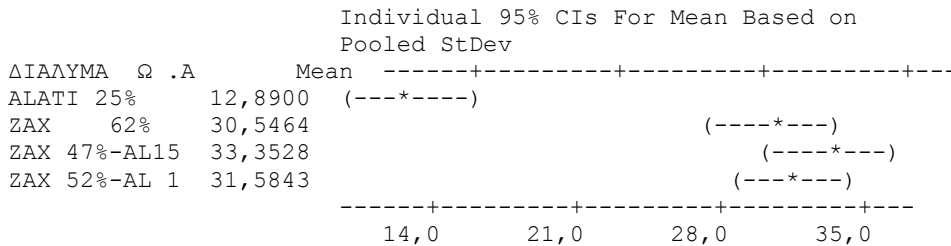
S = 5,169 R-Sq = 88,55% R-Sq(adj) = 87,00%

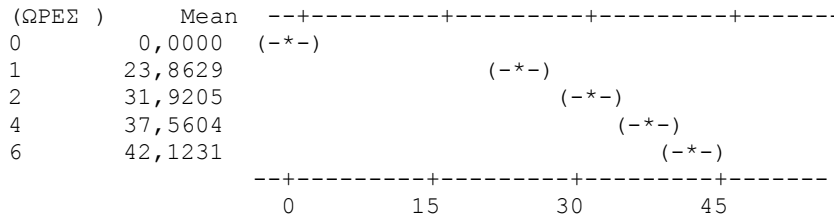


Two-way ANOVA: ΜΕΙΩΣΗ ΒΑΡΟΥΣ (W.R)% versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)

Source	DF	SS	MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	4095,1	1365,04	41,42	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ	4	13238,9	3309,72	100,44	0,000
Error	52	1713,5	32,95		
Total	59	19047,5			

S = 5,740 R-Sq = 91,00% R-Sq(adj) = 89,79%

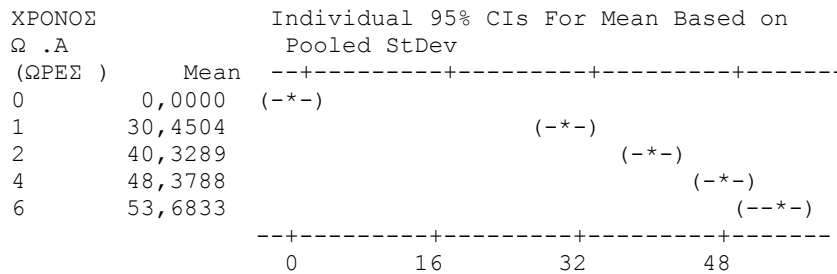
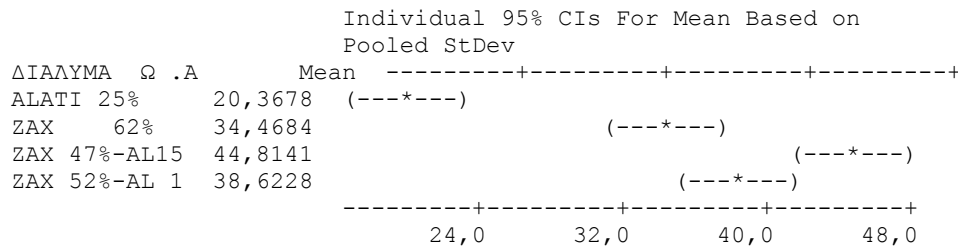




Two-way ANOVA: ΑΠΩΛΕΙΑ ΝΕΡΟΥ (W.L)% versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)

Source	DF	SS	MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	4846,2	1615,39	42,00	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)	4	21614,7	5403,66	140,50	0,000
Error	52	2000,0	38,46		
Total	59	28460,8			

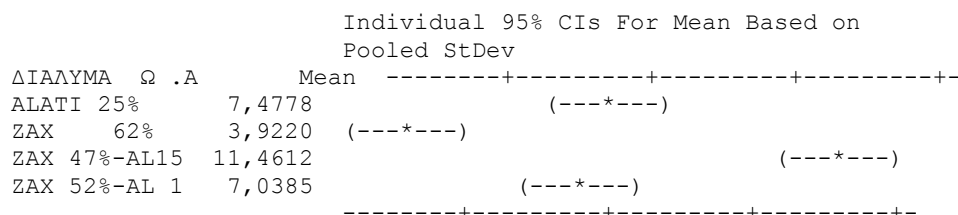
S = 6,202 R-Sq = 92,97% R-Sq(adj) = 92,03%



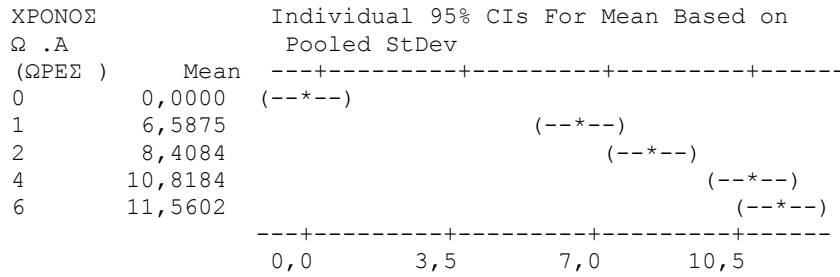
Two-way ANOVA: ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΣΤΕΡΕΩΝ (S.G) % versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)

Source	DF	SS	MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	430,56	143,520	39,05	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΡΕΣ)	4	1024,82	256,204	69,71	0,000
Error	52	191,12	3,675		
Total	59	1646,49			

S = 1,917 R-Sq = 88,39% R-Sq(adj) = 86,83%



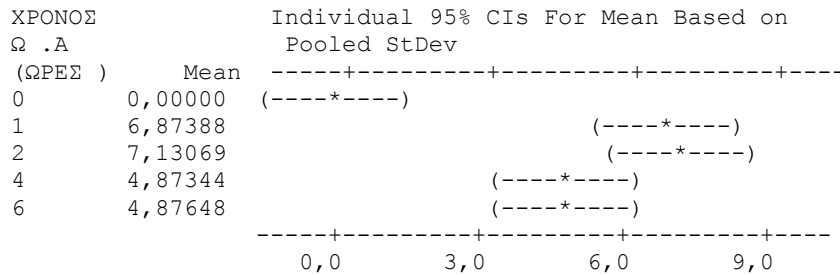
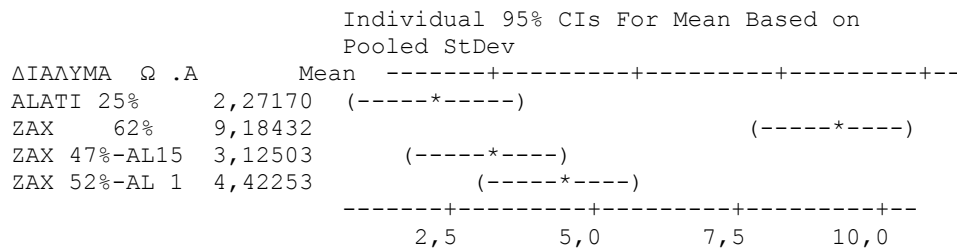
5,0 7,5 10,0 12,5



Two-way ANOVA: WL/SG versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; XPONOΣ Ω .A (ΩPEΣ)

Source	DF	SS	MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	428,29	142,765	19,54	0,000
XPONOΣ Ω .A (ΩPEΣ)	4	393,27	98,317	13,45	0,000
Error	52	380,02	7,308		
Total	59	1201,58			

S = 2,703 R-Sq = 68,37% R-Sq(adj) = 64,12%



General Linear Model: Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .Α ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .Α
(

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .Α	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%; ZAX
			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .Α (ΩΡΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .Α	3	10958	12042	4014	172,51	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .Α (ΩΡΕΣ)	4	120006	120006	30002	1289,43	0,000
Error	270	6282	6282	23		
Total	277	137246				

S = 4,82362 R-Sq = 95,42% R-Sq(adj) = 95,30%

Unusual Observations for Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ

Obs	Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
3	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
4	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
5	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
6	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
7	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
8	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
9	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
10	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
11	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
12	0,0000	-12,5931	0,8620	12,5931	2,65 R
56	29,8700	40,4599	0,8620	-10,5899	-2,23 R
64	31,9350	45,4763	0,8590	-13,5413	-2,85 R
65	34,0350	45,4763	0,8590	-11,4413	-2,41 R
66	30,9700	45,4763	0,8590	-14,5063	-3,06 R
67	33,6450	45,4763	0,8590	-11,8313	-2,49 R
70	34,8000	45,4763	0,8590	-10,6763	-2,25 R
71	34,7450	45,4763	0,8590	-10,7313	-2,26 R
128	44,0900	53,9566	0,8059	-9,8666	-2,07 R
149	70,7000	58,9730	0,8189	11,7270	2,47 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .Α ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .Α
(

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .Α	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%; ZAX
			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .Α (ΩΡΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for ΔYNAMH ΘPAYΣHΣ σ =F/A Kpa, using Adjusted SS
for
Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	3684196	3634454	1211485	19,59	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	4	9364466	9364466	2341116	37,86	0,000
Error	258	15952160	15952160	61830		
Total	265	29000822				

S = 248,657 R-Sq = 44,99% R-Sq(adj) = 43,50%

Unusual Observations for ΔYNAMH ΘPAYΣHΣ σ =F/A Kpa

Obs	Kpa	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
106	1555,90	932,25	42,49	623,65	2,55 R
110	1544,00	932,25	42,49	611,75	2,50 R
170	1606,90	1113,37	42,06	493,53	2,01 R
177	1617,10	1113,37	42,06	503,73	2,06 R
179	1650,80	1113,37	42,06	537,43	2,19 R
180	1650,60	1113,37	42,06	537,23	2,19 R
197	2227,90	1360,47	42,59	867,43	3,54 R
207	832,10	1360,47	42,59	-528,37	-2,16 R
209	2408,90	1360,47	42,59	1048,43	4,28 R
275	1923,37	1280,85	44,98	642,52	2,63 R
287	1916,24	1320,79	43,70	595,45	2,43 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%;
ZAX			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘPAYΣHΣ (dL/L0), using Adjusted SS
for
Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	0,28704	0,28531	0,09510	13,15	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	4	1,35047	1,35047	0,33762	46,68	0,000
Error	259	1,87330	1,87330	0,00723		
Total	266	3,51080				

S = 0,0850459 R-Sq = 46,64% R-Sq(adj) = 45,20%

Unusual Observations for ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘPAYΣHΣ (dL/L0)

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Obs	ⓉPAYΣHΣ (dL/L0)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	0,440000	0,226278	0,014721	0,213722	2,55 R
16	0,483333	0,299029	0,015590	0,184304	2,20 R
17	0,474242	0,299029	0,015590	0,175213	2,10 R
69	0,242276	0,422399	0,015431	-0,180123	-2,15 R
149	0,719000	0,492932	0,015053	0,226068	2,70 R
168	0,150000	0,376710	0,014382	-0,226710	-2,70 R
169	0,180000	0,376710	0,014382	-0,196710	-2,35 R
194	0,590000	0,415285	0,014275	0,174715	2,08 R
207	0,670000	0,476644	0,014562	0,193356	2,31 R
214	0,330000	0,500080	0,014818	-0,170080	-2,03 R
299	0,690000	0,509833	0,014942	0,180167	2,15 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%; ZAX
			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Mpa), using Adjusted SS for

Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	256,068	268,597	89,532	34,97	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	4	254,063	254,063	63,516	24,80	0,000
Error	253	647,833	647,833	2,561		
Total	260	1157,964				

S = 1,60019 R-Sq = 44,05% R-Sq(adj) = 42,51%

Unusual Observations for ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Mpa)

Obs	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Mpa)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	2,00000	5,40542	0,31300	-3,40542	-2,17 R
5	2,04000	5,40542	0,31300	-3,36542	-2,14 R
55	6,08000	2,91829	0,29592	3,16171	2,01 R
56	6,78000	2,91829	0,29592	3,86171	2,46 R
57	7,05000	2,91829	0,29592	4,13171	2,63 R
64	6,47000	2,61383	0,29120	3,85617	2,45 R
201	9,10000	3,23743	0,27526	5,86257	3,72 R
204	7,25000	3,23743	0,27526	4,01257	2,55 R
207	8,21000	3,23743	0,27526	4,97257	3,15 R
214	6,77000	2,93297	0,27103	3,83703	2,43 R
246	6,58000	2,88307	0,27324	3,69693	2,34 R
251	7,94000	2,88307	0,27324	5,05693	3,21 R
257	6,11000	1,85440	0,27235	4,25560	2,70 R
259	5,05000	1,85440	0,27235	3,19560	2,03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%; ZAX
			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡΩΣΗΣ (min), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	92,881	35,607	11,869	6,64	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	4	602,786	602,786	150,697	84,34	0,000
Error	187	334,129	334,129	1,787		
Total	194	1029,796				

S = 1,33671 R-Sq = 67,55% R-Sq(adj) = 66,34%

Unusual Observations for ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡΩΣΗΣ (min)

Obs	ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡΩΣΗΣ (min)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	11,9600	7,9620	0,3687	3,9980	3,11 R
7	11,9600	7,9620	0,3687	3,9980	3,11 R
91	6,9000	2,7658	0,2661	4,1342	3,16 R
108	5,7200	2,2926	0,2487	3,4274	2,61 R
111	5,0600	2,2926	0,2487	2,7674	2,11 R
140	7,2000	3,5219	0,2705	3,6781	2,81 R
177	5,8700	2,7024	0,2589	3,1676	2,42 R
284	6,8000	3,8850	0,2760	2,9150	2,23 R
288	8,3300	4,4089	0,2567	3,9211	2,99 R
292	7,2400	4,4089	0,2567	2,8311	2,16 R
299	7,2400	4,4089	0,2567	2,8311	2,16 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Linear Model: ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚ versus ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A ; ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (

Factor	Type	Levels	Values
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	fixed	4	ALATI 25%; ZAX 62%; ZAX 47%-AL 15%; ZAX
			52%-AL 10%
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	fixed	5	0; 1; 2; 4; 6

Analysis of Variance for ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚΗ /ΤΕΛΙΚΗ , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ΔΙΑΛΥΜΑ Ω .A	3	1659,89	1576,20	525,40	81,52	0,000
ΧΡΟΝΟΣ Ω .A (ΩΠΕΣ)	4	617,44	617,44	154,36	23,95	0,000
Error	256	1649,88	1649,88	6,44		
Total	263	3927,21				

S = 2,53867 R-Sq = 57,99% R-Sq(adj) = 56,84%

Unusual Observations for ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚΗ /ΤΕΛΙΚΗ

Obs	ΔΥΝΑΜΗ		Fit	SE Fit	Residual	St Resid
	ΑΡΧΙΚΗ	/ΤΕΛΙΚΗ				
3	2,0900	7,3941	0,4901	0,4901	-5,3041	-2,13 R
4	1,9400	7,3941	0,4901	0,4901	-5,4541	-2,19 R
5	1,8100	7,3941	0,4901	0,4901	-5,5841	-2,24 R
6	1,8800	7,3941	0,4901	0,4901	-5,5141	-2,21 R
7	1,8800	7,3941	0,4901	0,4901	-5,5141	-2,21 R
8	2,0700	7,3941	0,4901	0,4901	-5,3241	-2,14 R
10	2,1300	7,3941	0,4901	0,4901	-5,2641	-2,11 R
11	2,0800	7,3941	0,4901	0,4901	-5,3141	-2,13 R
32	17,3300	11,5188	0,4650	0,4650	5,8112	2,33 R
35	19,1000	11,5188	0,4650	0,4650	7,5812	3,04 R
42	17,6900	11,5188	0,4650	0,4650	6,1712	2,47 R
56	16,2100	10,5788	0,4693	0,4693	5,6312	2,26 R
57	20,7600	10,5788	0,4693	0,4693	10,1812	4,08 R
68	25,2200	11,0619	0,4617	0,4617	14,1581	5,67 R
201	9,8500	4,6726	0,4358	0,4358	5,1774	2,07 R
234	10,2100	1,7018	0,4570	0,4570	8,5082	3,41 R
246	11,0400	5,9696	0,4315	0,4315	5,0704	2,03 R
262	13,6000	5,8265	0,4300	0,4300	7,7735	3,11 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Correlations: 1.% ΥΓΡΑΣΙΑ ; 1.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ ; 1,% ΜΕΙΩΣΗ Β ; 1.% ΑΠΩΛΕΙΑ ;

...

	1.% ΥΓΡΑΣΙΑ	1.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ	1,% ΜΕΙΩΣΗ Β	1.% ΑΠΩΛΕΙΑ
1.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ	-0,902 0,000			
1,% ΜΕΙΩΣΗ Β	-0,907 0,000	0,724 0,000		
1.% ΑΠΩΛΕΙΑ	-0,947 0,000	0,813 0,000	0,982 0,000	
1.%ΣΥΡΡΙΚΝΩΣ	-0,888 0,000	0,795 0,000	0,948 0,000	0,953 0,000
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	0,348 0,000	-0,132 0,032	-0,510 0,000	-0,459 0,000
ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ	0,503 0,000	-0,549 0,000	-0,619 0,000	-0,620 0,000
ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚ	-0,078 0,205	0,295 0,000	-0,041 0,508	0,000 0,999
	1.%ΣΥΡΡΙΚΝΩΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	-0,449 0,000			
ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ	-0,705 0,000	0,244 0,001		
ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚ	0,170 0,006	0,263 0,000	-0,699 0,000	

Cell Contents: Pearson correlation

P-Value

Correlations: 2.ΥΓΡΑΣΙΑ %; 2.ΜΕΙΩΣΗ ΒΑ ; 2.,ΑΠΩΛΕΙΑ Ν ; 2.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ ;

...

	2.ΥΓΡΑΣΙΑ %	2.ΜΕΙΩΣΗ ΒΑ	2.,ΑΠΩΛΕΙΑ Ν	2.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ
2.ΜΕΙΩΣΗ ΒΑ	-0,908 0,000			
2.,ΑΠΩΛΕΙΑ Ν	-0,947 0,000	0,982 0,000		
2.ΠΡΟΣΛΗΨΗ Σ	-0,901 0,000	0,727 0,000	0,815 0,000	
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	-0,695 0,000	0,716 0,000	0,700 0,000	0,520 0,000
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ	-0,662 0,000	0,652 0,000	0,661 0,000	0,567 0,000
%ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	-0,881 0,000	0,963 0,000	0,963 0,000	0,773 0,000
	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ		
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ	0,320 0,000			
%ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	0,685 0,000	0,600 0,000		

Cell Contents: Pearson correlation

P-Value

Correlations: Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩ ; ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ ; ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ; ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ ; ...

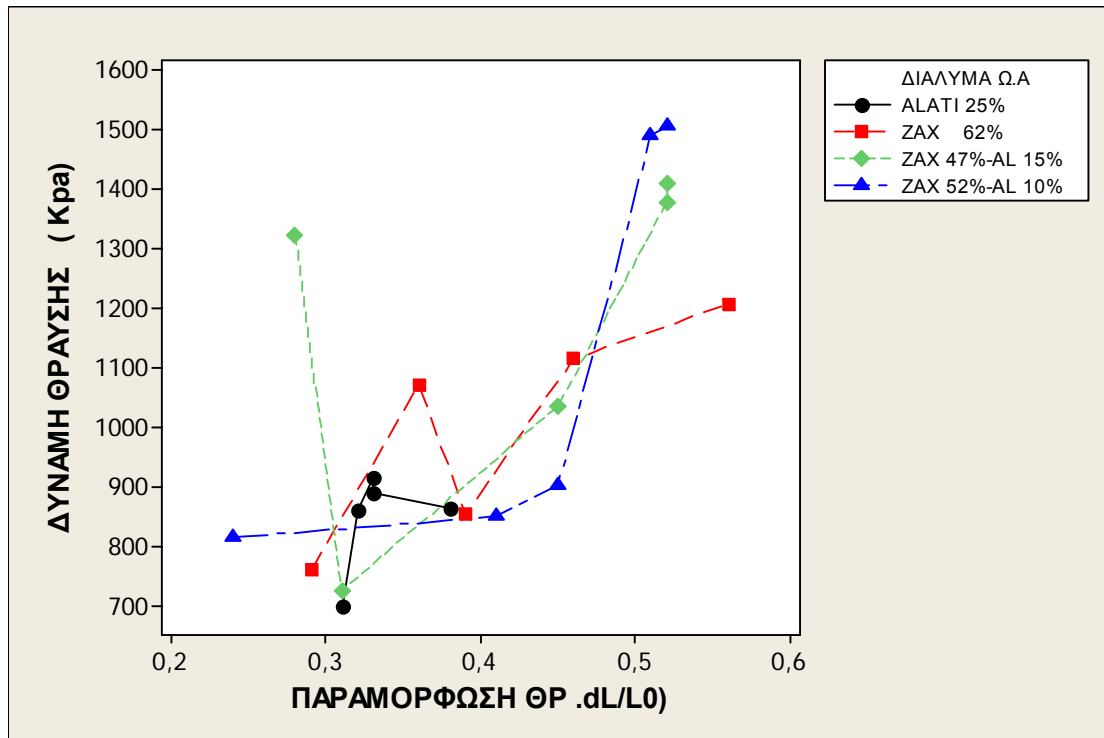
	Μ.Ο ΣΥΡΡΙΚΝΩ	ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ
ΔΥΝΑΜΗ ΘΡΑΥΣ	0,608 0,000			
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	0,676 0,000	0,320 0,000		
ΧΡΟΝΟΣ ΧΑΛΑΡ	-0,698 0,000	-0,235 0,002	-0,362 0,000	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	-0,472 0,000	-0,313 0,000	-0,354 0,000	0,244 0,001
ΔΥΝΑΜΗ ΑΡΧΙΚ	0,132	-0,105	-0,012	-0,699

		0,034	0,101	0,857	0,000
		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ			
ΔΥΝΑΜΗ	ΑΡΧΙΚ	0,263			
		0,000			

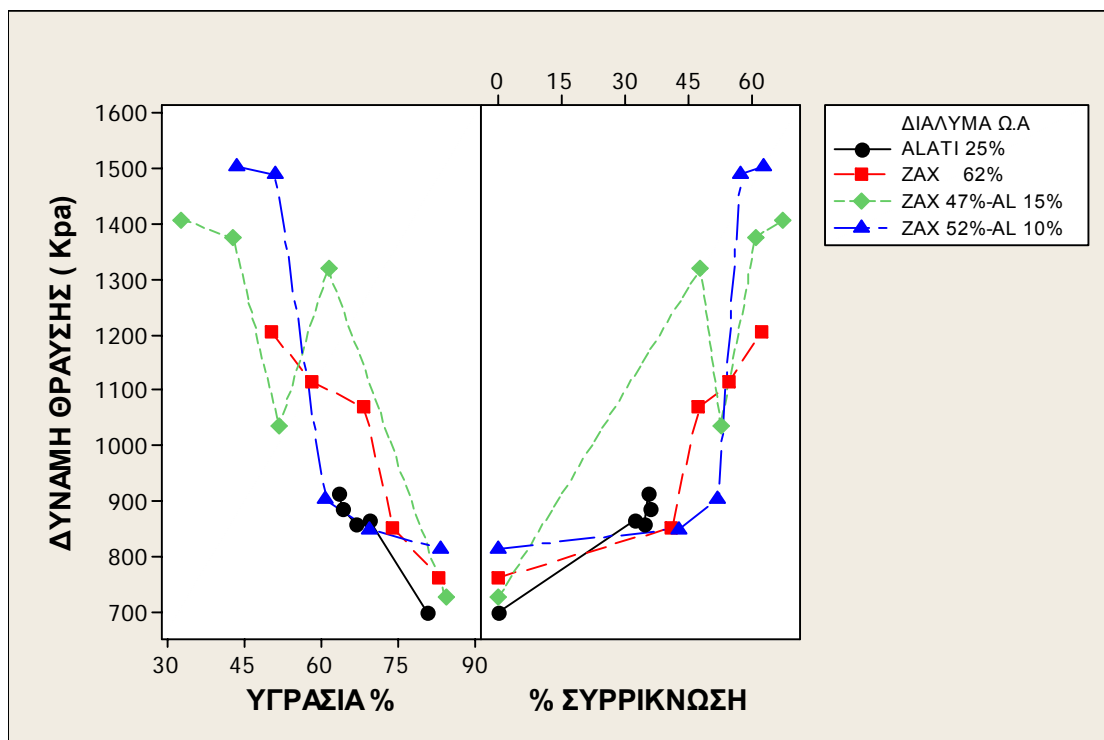
Cell Contents: Pearson correlation

P-Value

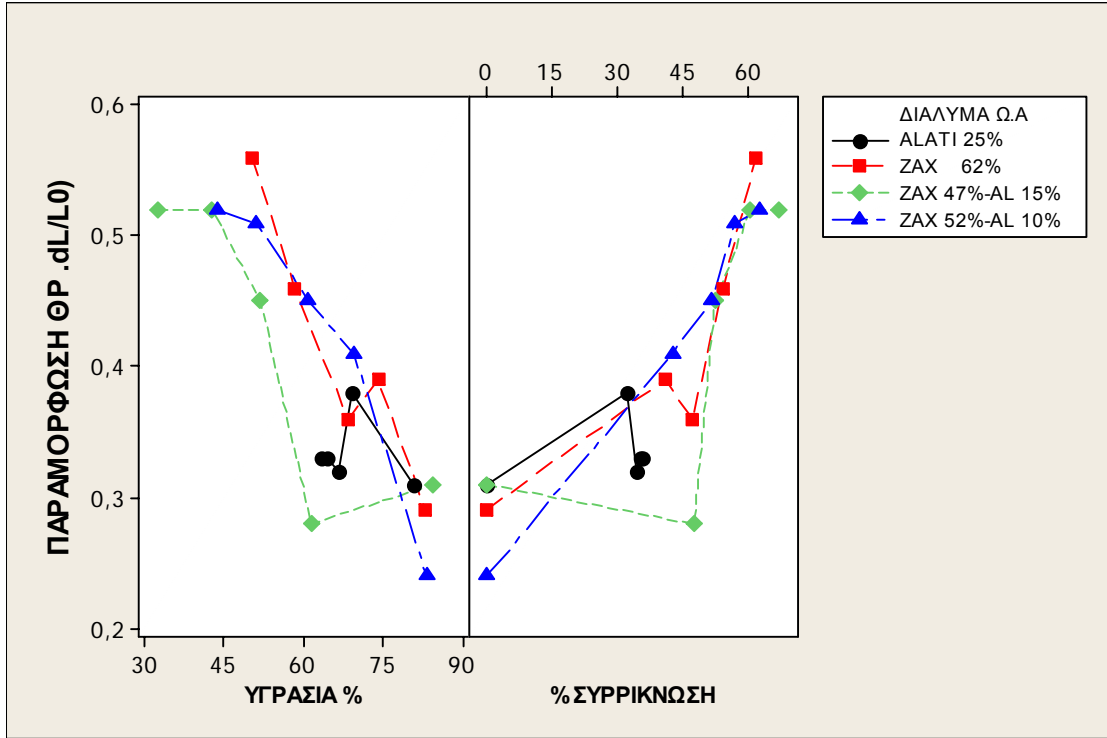
Β.ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ



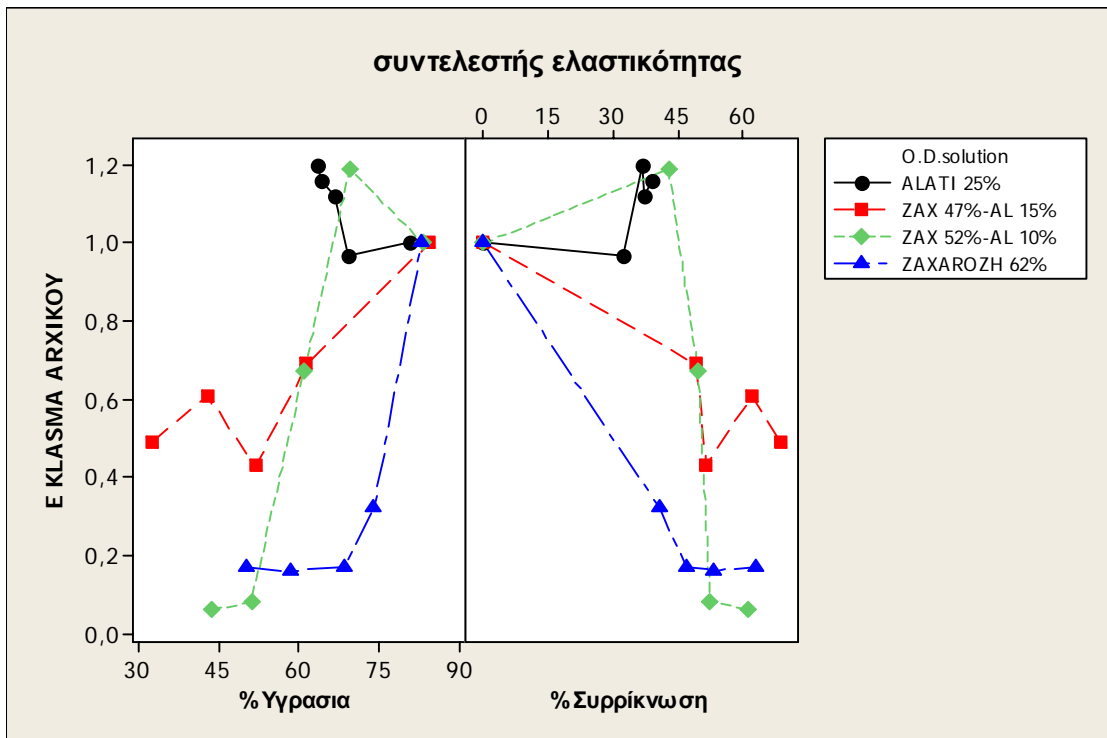
Σχήμα Π1. Αλληλεπίδραση δύναμης θραύσης παραμόρφωσης



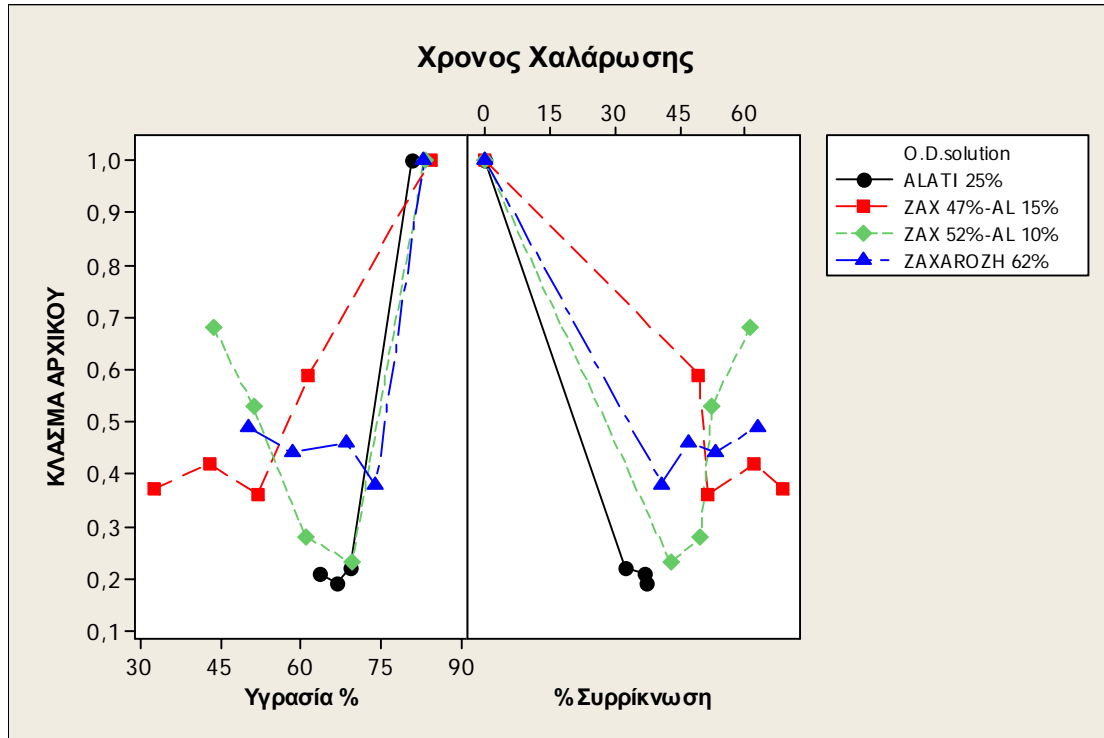
Σχήμα Π2..Αλληλεπίδραση δύναμης θραύσης με υγρασία ,συρρίκνωση



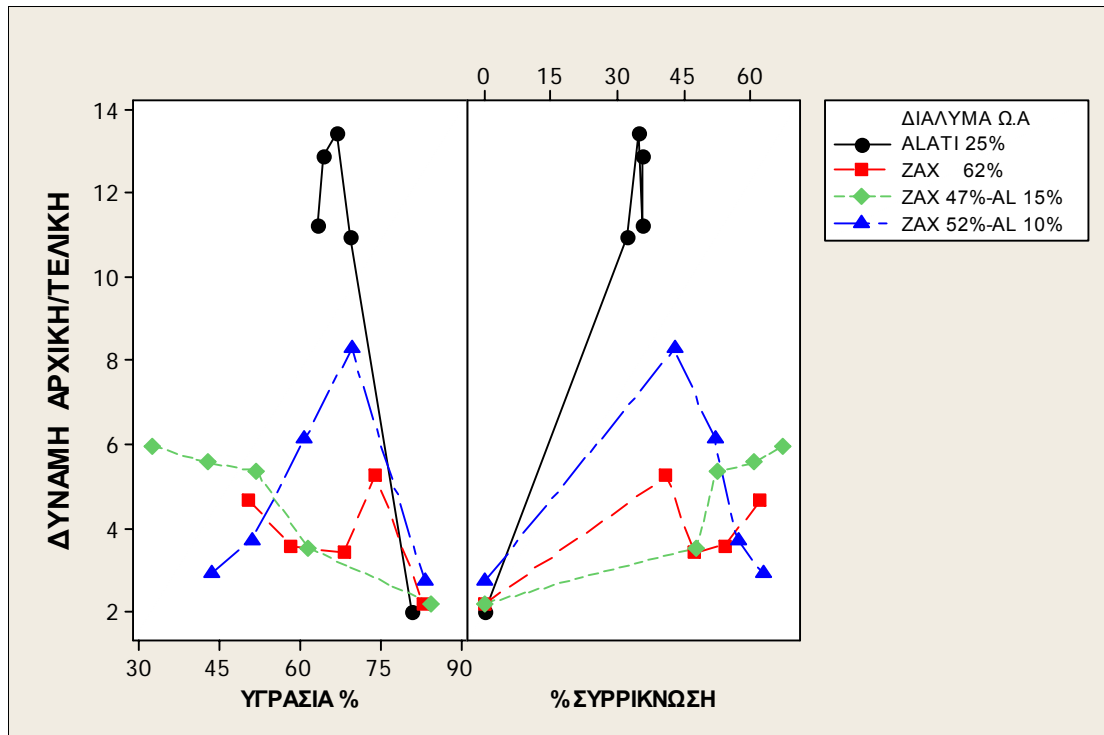
Σχήμα Π3.Αλληλεπίδραση παραμόρφωση θραύσης με υγρασία ,συρρίκνωση



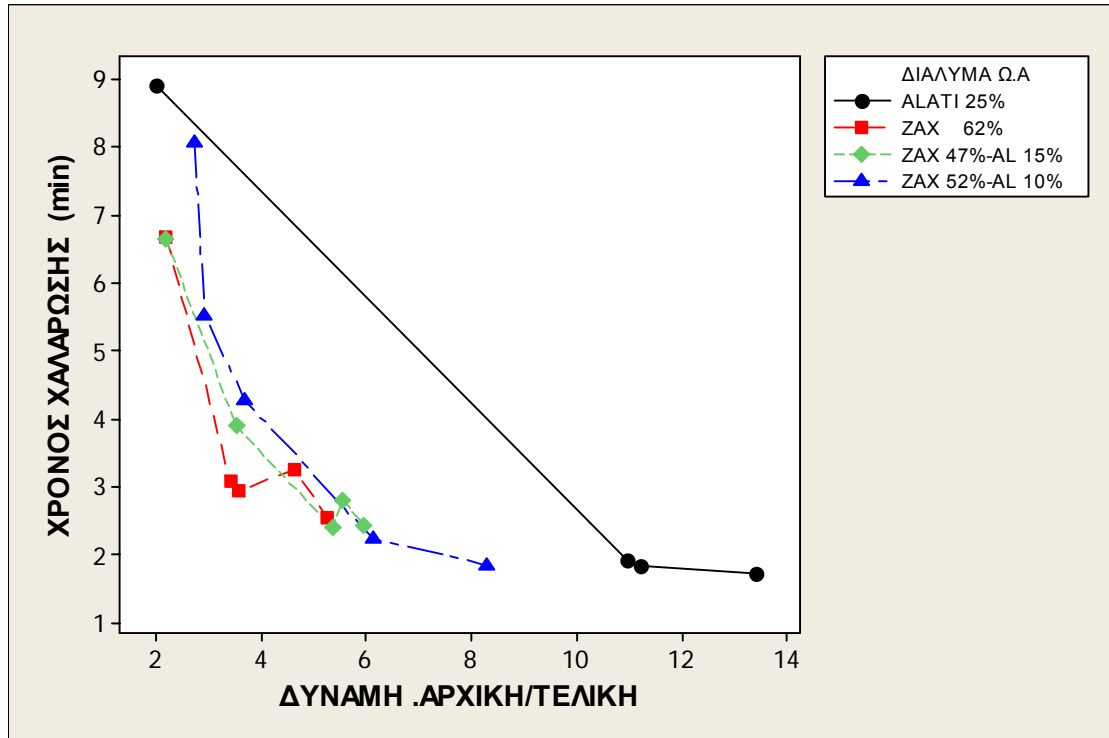
Σχήμα Π4.β Αλληλεπίδραση συντελεστή ελαστικότητας με υγρασία – συρρίκνωση(κλάσμα αρχικού)



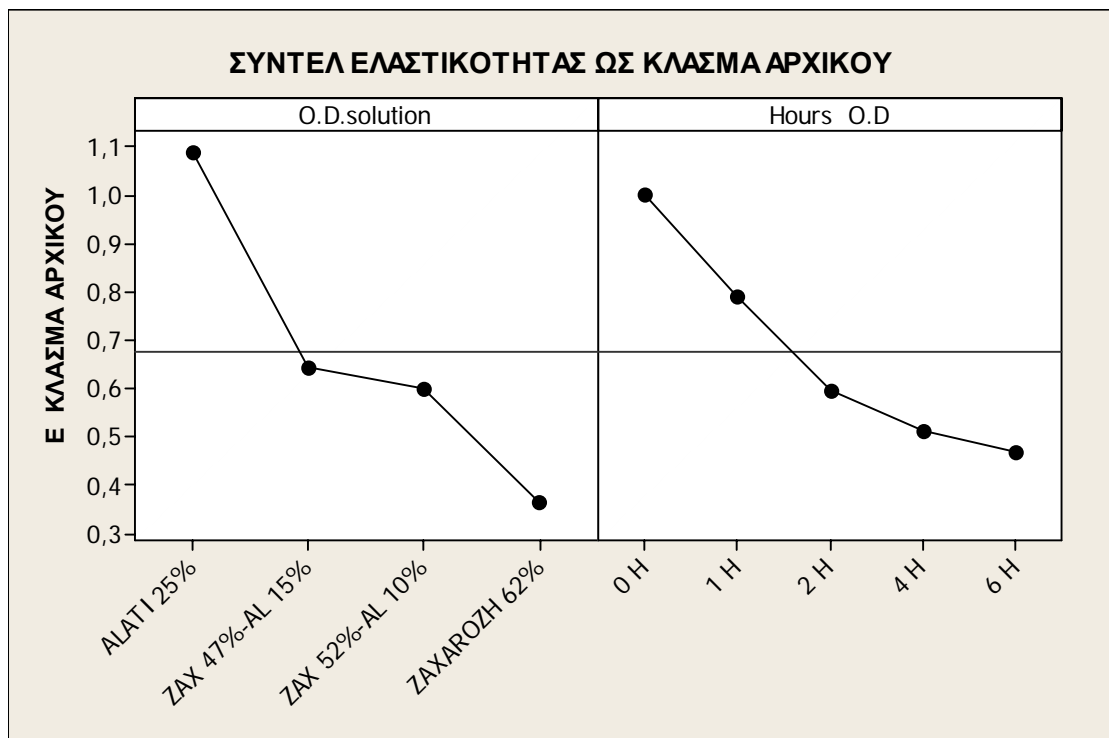
Σχήμα Π5. Αλληλεπίδραση Χρόνου χαλάρωσης ως κλάσμα αρχικού με υγρασία –συρρίκνωση



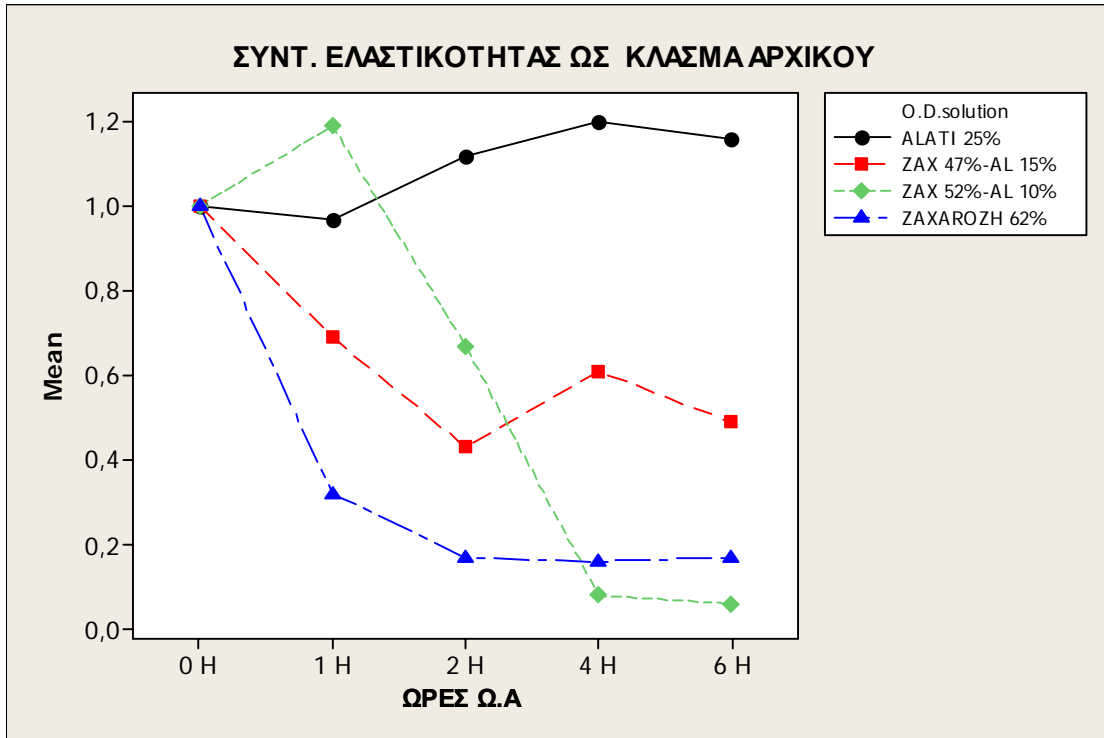
Σχήμα Π6. Αλληλεπίδραση δύναμης αρχικής/ τελικής με υγρασία – συρρίκνωση



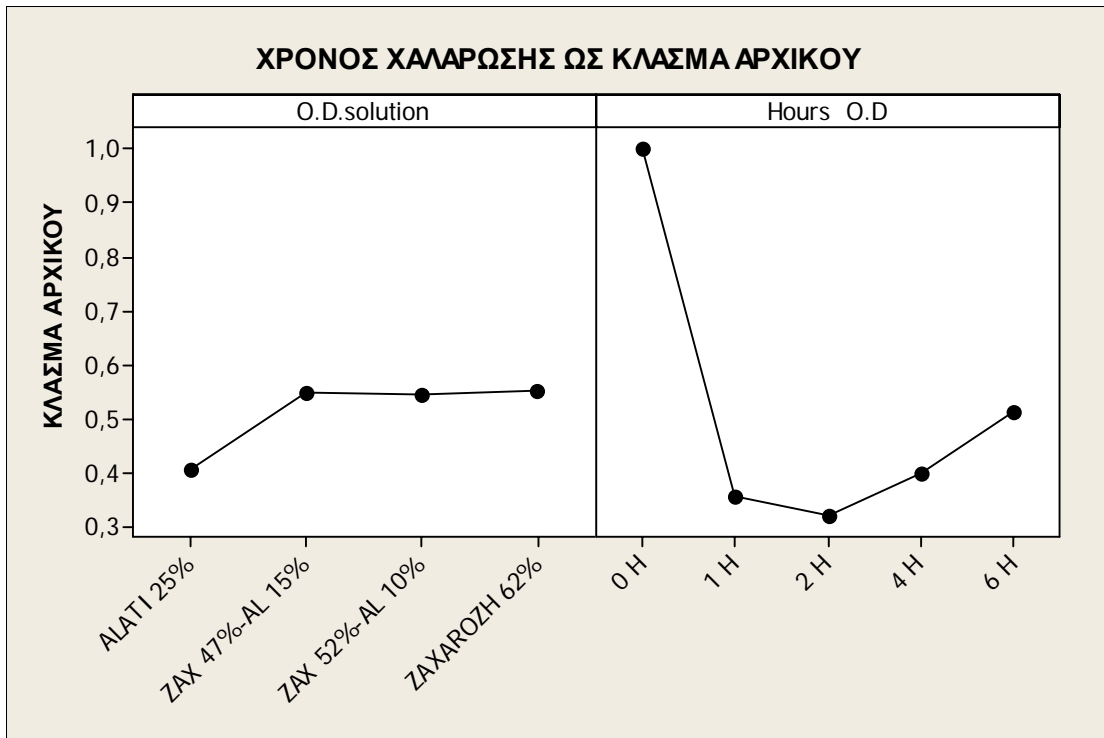
Σχήμα Π7. Αλληλεπίδραση χρόνου χαλάρωσης και δύναμης αρχικής/ τελικής



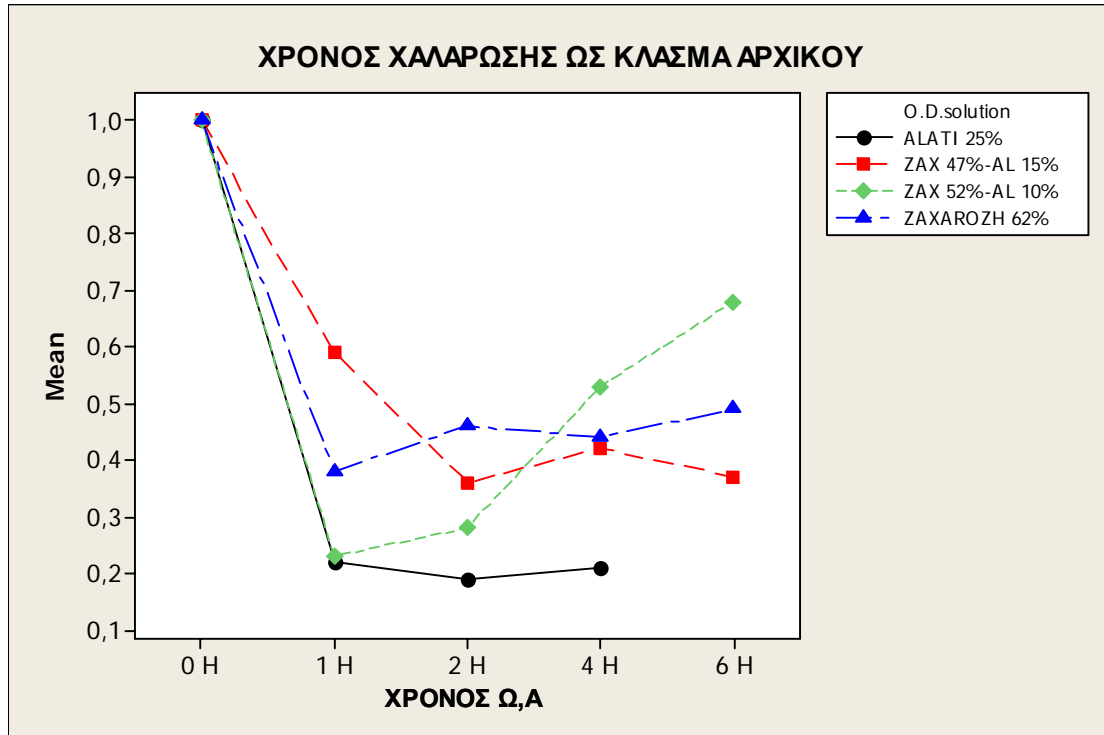
Σχήμα Π8. Μέσοι όροι ως κλάσμα αρχικού του συντελεστή ελαστικότητας της πατάτας στα διάφορα διαλύματα και χρόνους ωσμωτικούς αφυδάτωσης



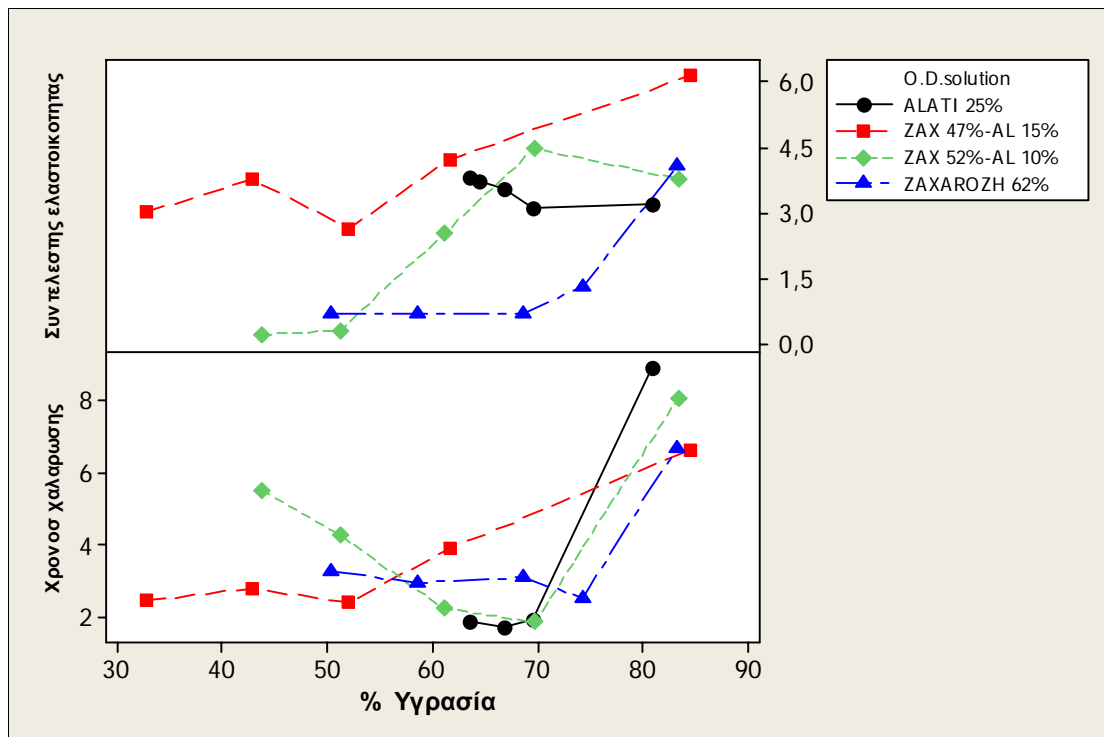
Σχήμα Π10. . Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης **ως κλάσμα αρχικού** του συντελεστή ελαστικότητας



Σχήμα Π11. Μέσοι όροι **ως κλάσμα αρχικού** του χρόνου χαλάρωσης στα διαφορετικά διαλύματα και τους χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Σχήμα Π.12.Επίδραση του είδους του ωσμωτικού διαλύματος και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης στον χρόνο χαλάρωσης.ως κλάσμα αρχικού.



Σχήμα Π13 αλληλεπίδραση της υγρασίας με τον συντελεστή ελαστικότητας και τον χρόνο χαλάρωσης

Γ.ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ

χρόνος	Αρχική Υγρασία Ω.Α			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	60,00257968	70,10588298	73,65870937	71,94992558
	62,0891996	69,20827338	73,39565875	69,31480153
	62,64708898	69,7784679	75,58993608	66,95616159
120 min	57,07779891	60,40315486	69,91287415	65,5538368
	52,73860238	61,9290155	67,86406669	67,45074325
	46,133956	60,78561047	67,79713741	67,45074325
240 min	42,81315622	51,53835793	58,69646824	63,61151462
	44,79589025	51,39612376	55,95828108	64,36253099
	40,95894258	50,57713209	60,76388829	62,50193682
360 min	32,66739901	43,66242739	49,82064079	65,93047342
	31,18345631	42,09657208	53,08080469	65,17349535
	34,30769351	45,50093071	48,27436354	62,26398197
60 min ΝΠ	86,60238917	83,47962055	82,84916523	80,99561443
120 min ΝΠ	84,23102575	83,08963766	85,49890937	79,65135638
240 min ΝΠ	84,13302883	82,27334401	79,78344799	78,5911073
360 min ΝΠ	83,16685248	84,5358447	84,5418348	84,26465437

χρόνος	% Υγρασία Ω.Α			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	60,0	70,1	73,66	71,95
	62,1	69,2	73,40	69,31
	62,6	69,8	75,59	66,96
120 min	46,1	60,4	69,91	65,55
	52,7	61,9	67,86	67,45
	57,1	60,8	67,80	67,45
240 min	41,0	51,5	58,70	63,61
	44,8	51,4	55,96	64,36
	42,8	50,6	60,76	62,50
360 min	34,3	43,7	49,82	65,93
	31,2	42,1	53,08	65,17
	32,7	45,5	48,27	62,26

χρόνος	Απώλεια νερού % (WL)%			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	42,6	32,3	28,1	20,44
	41,3	31,4	28,8	20,73
	39,0	31,8	26,0	24,30
120 min	56,3	45,9	38,4	26,08
	51,3	44,2	41,4	24,28
	48,9	43,3	40,4	24,78
240 min	63,3	54,3	48,7	27,70
	60,7	54,6	50,3	27,21
	62,4	55,0	49,0	28,86
360 min	67,9	62,8	56,9	25,14
	69,6	62,8	55,8	27,06
	68,9	61,0	58,6	28,94

χρόνος	Πρόσληψη στερεών % (SG)%			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	12,5	5,12	2,9	4,44
	10,9	6,44	2,9	7,50
	11,7	5,68	1,6	8,80
120 min	17,5	7,89	2,4	9,67
	14,3	7,39	2,9	8,19
	11,3	9,16	3,5	7,95
240 min	15,2	10,69	7,4	11,29
	14,0	10,54	9,0	10,59
	14,1	11,06	5,2	12,08
360 min	16,3	9,80	9,64	9,68
	17,4	11,66	7,33	9,63
	16,7	10,15	9,47	12,35

χρόνος	(WL/SG %)			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	3.4	6.3	9.85	4.61
	3.8	4.9	9.95	2.76
	3.3	5.6	15.97	2.76
120 min	3.2	5.8	15.82	2.70
	3.6	6.0	14.14	2.97
	4.3	4.7	11.67	3.12
240 min	4.2	5.1	6.54	2.45
	4.3	5.2	5.57	2.57
	4.4	5.3	9.38	2.39
360 min	4.2	6.4	5.9	2.60
	4.0	5.4	7.62	2.81
	4.1	6.0	6.19	2.34

χρόνος	Απώλεια Βάρους (WR%)			
	Ζαχαρόζη 47 - Αλάτι 15	Ζαχαρόζη 52 - Αλάτι 10	Ζαχαρόζη 62%	Αλατοδιάλυμα 25%
60 min	30,18	27,1	25,26	16,0
	30,41	25,0	25,87	13,2
	27,28	26,1	24,38	15,5
120 min	38,74	38,0	35,99	16,4
	36,93	36,8	38,51	16,1
	37,57	34,2	36,97	16,8
240 min	48,09	43,6	41,23	16,4
	46,71	44,1	41,28	16,6
	48,29	43,9	43,79	16,8
360 min	51,59	53,0	47,24	15,5
	51,59	53,0	48,52	15,5
	51,59	53,0	49,16	15,5

Δ.ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% Αρχικού όγκου	Παραμόρφωση ε=DL/L	Δύναμη αρχική/τελική	Τάση συμπίεσης (kpa)	Συντελεστής Ελαστικότητας (Mpa)	Χρόνος χαλάρωσης (min)
		aver	81,28	11,06	100,00	0,12	1,99	377,62	3,19	8,91
	νωπά	stdev	2,43	0,35		0,01	0,12	127,04	1,33	1,93
		aver	69,41	7,45	67,37	0,13	10,97	380,24	3,10	1,92
	1 Ώρα	stdev	2,13	0,30	2,71	0,01	2,83	189,55	1,71	0,24
NaCl 25%		aver	66,82	6,92	62,59	0,12	13,43	438,48	3,57	1,73
	2 Ώρες	stdev	0,94	0,42	3,82	0,01	3,67	150,26	1,36	*
		aver	63,49	7,00	63,31	0,12	11,24	452,76	3,84	1,86
	4 ΩΡΕΣ	stdev	0,80	0,49	4,43	0,01	4,12	228,25	2,01	*
		aver	64,45	6,73	60,86	0,13	12,89	472,24	3,71	*
	6 ΩΡΕΣ	stdev	1,65	0,38	3,46	0,01	4,34	149,51	1,31	*

Διάλυμα	Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% Αρχικού όγκου	Παραμόρφωση θραύσης	Δύναμη θραύσης σ=F/A Κρα	Μ.Ο %αρχικού όγκου	% Μ.Ο Συρρίκνωσης
NaCl 25%		νωπά	aver	80,65	10,18	100,00	0,31	699,80	100,00	0,00
			stdev	2,08	0,28		0,07	130,65	0,00	0,00
	1 Ωρα	aver	69,41	6,97	68,45	0,38	865,76	67,91	32,09	
		stdev	2,13	0,42	4,10	0,07	159,78	2,73	2,73	
	2 Ωρες	aver	66,82	6,95	68,30	0,32	861,31	65,45	34,56	
		stdev	0,94	0,29	2,89	0,06	116,75	2,66	2,66	
	4 ΩΡΕΣ	aver	63,49	6,70	65,80	0,33	915,02	61,81	38,19	
		stdev	0,80	0,33	3,20	0,06	145,39	9,90	9,90	
	6 ΩΡΕΣ	aver	64,45	6,89	67,68	0,33	888,86	64,27	35,73	
		stdev	1,65	0,40	3,93	0,06	172,95	2,77	2,77	

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% Αρχικού όγκου	Παραμόρφωση ε=DL/L	Δύναμη αρχική/τελική	Τάση συμπίεσης (kpa)	Συντελεστής Ελαστικότητας (Mpa)	Χρόνος χαλάρωσης (min)
ZAXAPOZH 62%	νωπά	aver	82,82	10,13	100,00	0,12	2,19	495,82	4,09	6,69
		stdev	2,46	0,52		0,01	0,13	82,03	0,65	0,93
	1 Ωρα	aver	74,22	5,98	59,05	0,15	5,25	191,08	1,31	2,54
		stdv	1,01	0,42	4,11	0,01	1,69	141,24	0,94	1,42
	2 Ωρες	aver	68,52	5,34	52,70	0,15	3,41	103,73	0,69	3,10
		stdev	1,02	0,41	4,04	0,04	0,83	72,63	0,46	1,11
	4 ΩΡΕΣ	aver	58,47	4,73	46,67	0,15	3,58	101,68	0,67	2,96
		stdev	2,04	0,34	3,41	0,02	0,88	50,79	0,27	0,41
	6 ΩΡΕΣ	aver	50,39	3,74	36,93	0,15	4,65	108,97	0,70	3,26
		stdev	2,07	0,41	4,08	0,04	1,31	113,34	0,74	1,60

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% αρχικού όγκου	Παραμόρφωση θραύσης	Δύναμη θραύσης σ=F/A Kpa	M.O %αρχικού όγκου	% M.O Συρρίκνωσης
ZAXAPOZH 62%		aver	82,82	10,28	100,00	0,29	762,02	100,00	0,00
	νωπά	stdev	2,46	0,35		0,06	84,53	0,00	0,00
		aver	74,26	6,08	59,11	0,39	854,38	58,88	41,12
	1 Ωρα	stdev	1,04	0,38	3,73	0,07	161,28	2,39	2,39
		aver	68,52	5,41	52,66	0,36	1069,79	52,68	47,32
	2 Ωρες	stdv	1,02	0,49	4,76	0,04	295,01	2,65	2,65
		aver	58,47	4,61	44,81	0,46	1115,38	45,74	54,26
	4 ΩΡΕΣ	stdev	2,04	0,53	5,19	0,08	219,86	4,30	95,70
		aver	50,39	4,01	38,98	0,56	1207,24	38,00	62,00
	6 ΩΡΕΣ	stdev	2,07	0,52	5,05	0,09	213,65	3,90	3,90

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% Αρχικού όγκου	Παραμόρφωση ε=DL/L	Δύναμη αρχική/τελική	Τάση συμπίεσης (kra)	Συντελεστής Ελαστικότητας (Mpa)	Χρόνος χαλάρωσης (min)
ZAXAPOZH 47%-ALATI 15%		aver	84,39	10,71	100,00	0,12	2,19	716,19	6,15	6,65
	νωπά	stdev	1,22	0,27		0,01	0,18	110,56	0,90	1,01
		aver	61,58	5,40	50,43	0,15	3,53	637,73	4,23	3,90
	1 Ωρα	stdev	1,18	0,39	3,66	0,01	0,67	200,19	1,44	0,94
		aver	51,98	5,18	48,40	0,14	5,36	369,67	2,65	2,40
	2 Ωρες	stdev	4,66	0,41	3,86	0,01	1,13	162,02	1,17	0,28
		aver	42,86	4,03	37,60	0,14	5,56	528,18	3,76	2,80
	4 ΩΡΕΣ	stdev	1,62	0,30	2,78	0,02	2,02	407,99	2,84	0,95
		aver	32,72	3,33	31,14	0,15	5,95	431,57	3,01	2,45
	6 ΩΡΕΣ	stdev	1,32	0,27	2,57	0,02	1,52	240,17	1,76	0,56

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% αρχικού όγκου	Παραμόρφωση θραύσης	Δύναμη θραύσης σ=F/A Kpa	M.O %αρχικού όγκου	% M.O Συρρίκνωσης
ZAXAPOZH 47%-ALATI 15%	νωπά	aver	84,62	10,42	100,00	0,31	726,14	100,00	0,00
		stdev	1,30	0,35		0,06	80,30		
	1 Ώρα	aver	61,58	5,64	54,13	0,28	1322,01	52,28	47,73
		stdev	1,18	0,50	4,75	0,07	229,43	3,06	3,06
	2 Ώρες	aver	51,98	4,86	46,64	0,45	1036,25	47,52	52,48
		stdev	4,66	0,39	3,78	0,08	164,77	2,74	2,74
	4 ΩΡΕΣ	aver	43,43	4,27	41,01	0,52	1376,23	39,31	60,69
		stdev	1,91	0,56	5,41	0,09	467,52	3,13	3,13
	6 ΩΡΕΣ	aver	32,85	3,61	34,62	0,52	1409,55	32,84	67,16
		stdev	1,56	0,43	4,15	0,08	276,93	2,32	2,32

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% Αρχικού όγκου	Παραμόρφωση ε=DL/L	Δύναμη αρχική/τελική	Τάση συμπίεσης (kpa)	Συντελεστής Ελαστικότητας (Mpa)	Χρόνος χαλάρωσης (min)
ZAXAPOΣH 52%- AΛATI 10%		aver	83,26	10,58	100,00	0,13	2,73	426,91	3,77	8,08
		νωπά	stdev	0,80	0,39	0,01	2,49	190,67	1,71	1,51
		aver	69,70	6,04	57,06	0,14	8,29	616,07	4,48	1,86
	1 Ωρα	stdev	0,38	0,48	4,55	0,01	1,58	211,14	1,66	0,15
		aver	61,04	5,31	50,16	0,15	6,13	368,55	2,52	2,24
	2 Ωρες	stdev	0,67	0,33	3,13	0,01	2,40	251,67	1,76	0,50
		aver	51,17	5,01	47,39	0,14	3,70	45,14	0,31	4,28
	4 ΩΡΕΣ	stdev	0,44	0,61	5,79	0,02	0,91	45,04	0,29	1,39
		aver	43,75	4,10	38,71	0,14	2,93	30,26	0,21	5,51
	6 ΩΡΕΣ	stdev	1,44	0,48	4,56	0,02	0,47	25,65	0,17	1,67

Διάλυμα Ω.Α	Χρόνος Ω.Α	n=15	% Υγρασία	Όγκος (cm ³)	% αρχικού όγκου	Παραμόρφωση θραύσης	Δύναμη σ=F/A Kpa	M.O %αρχικού όγκου	% M.O Συρρίκνωσης
ZAXAPOΣH 52%- ALATI 10%		aver	83,19	10,65	100,00	0,24	814,76	100,00	0,00
	νωπά	stdev	0,73	0,41		0,04	222,33	0,00	0,00
		aver	69,69	6,12	57,46	0,41	850,91	57,26	42,74
	1 Ωρα	stdev	0,40	0,31	2,94	0,06	196,53	3,07	3,07
		aver	61,04	4,92	46,20	0,45	903,32	48,18	51,82
	2 Ωρες	stev	0,67	0,35	3,32	0,05	120,84	2,45	2,45
		aver	51,17	4,09	38,41	0,51	1490,47	42,90	57,10
	4 ΩΡΕΣ	stdev	0,44	0,40	3,74	0,06	263,72	3,23	3,23
		aver	43,75	3,81	35,76	0,52	1505,94	37,24	62,76
	6 ΩΡΕΣ	stdev	1,44	0,44	4,12	0,08	244,09	3,28	3,28

Ε.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

Διάλυμα σακχαρόζης 62%β/β

Μοριακό βάρος σακχαρόζης 342.

$$62/342=0,18 \text{ mole}/100\text{gr} \text{ διαλύματος} \quad d=1,2983 \text{ gr}/\text{cm}^3$$
$$2,3 \text{ mole}/\text{l}$$

Διάλυμα NaCl 25% β/β

Μοριακό βάρος NaCl =58,5

$$25/58,5=0,427 \text{ mole}/100\text{gr} \text{ διαλύματος} \quad d=1,189 \text{ gr}/\text{cm}^3$$
$$5 \text{ mole}/\text{l}$$

Διάλυμα 15% NaCl-45% σακχαρόζης

$15/58,5= 0,2564\text{NaCl} /100\text{gr}$ διαλύματος

$45/342=0,132 \text{ mole}$ σακχαρόζης /100 gr διαλύματος

$0,132+0,2564=0,3884\text{mole} /100 \text{ gr}$ διαλύματος

$$d= 0,15 *1,108 +0,45*1,28=62*d \quad d=1,197 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

4,65 mole/l

Διάλυμα 10% NaCl-52 % σακχαρόζης

$10/58,5= 0,171\text{NaCl} /100\text{gr}$ διαλύματος

$52/342=0,152 \text{ mole}$ σακχαρόζης /100 gr διαλύματος

$0,171+0,152=0,323\text{mole} /100 \text{ gr}$ διαλύματος

$$d= 0,10 *1,107 +0,52*1,24=62*d \quad d=1,21 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

3,87 mole/l

Σύγκριση μοριακότητας διαλυμάτων

NaCl 25% β/β > 15% NaCl-45% σακχ. > 10% NaCl-52 % σακχ. > σακχ

