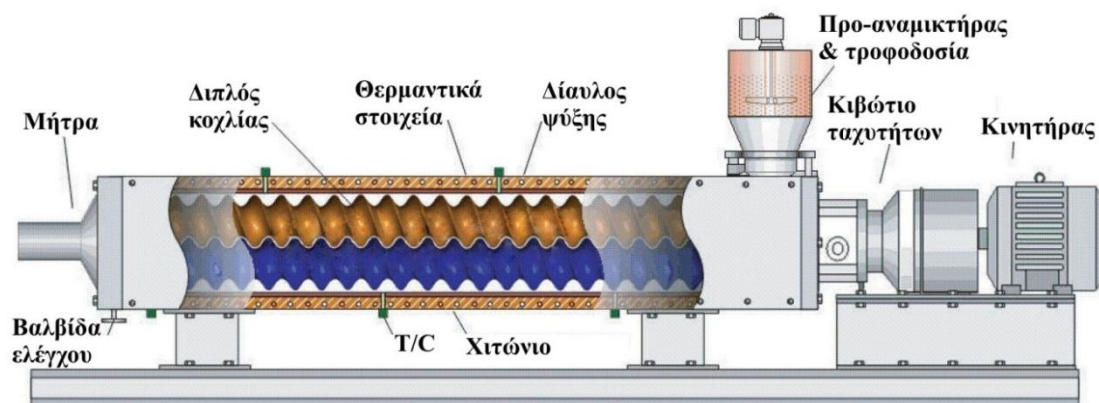




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ
ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΩΝ
ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ



ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Μ. Κροκίδα

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

*Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Ευτυχία και Σπύρο*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας «Φυσικές ιδιότητες προϊόντων εκβολής με προσθήκη αφυδατωμένων λαχανικών», πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών (ΕΣΑΔ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ανάθεση του θέματος έγινε από την Επικ. Καθηγήτρια Μαγδαληνή Κροκίδα, ενώ στην τριμελή εξεταστική επιτροπή συμμετείχαν επίσης η Αναπ. Καθηγήτρια Αθηνά Παππά και η Επικ. Καθηγήτρια Αναστασία Δέτση.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου σε όσους με βοήθησαν και συνέβαλαν στην περάτωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επικ. Καθηγήτρια Μαγδαληνή Κροκίδα, όχι μόνο για την καθοριστική συμβολή της ως επιβλέπουσα της διπλωματικής, αλλά και για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή της σε όλους τους τομείς καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά την Υποψ. Διδάκτορα Βάσια Οικονομοπούλου για την πραγματικά καθημερινή υποστήριξή της στην οργάνωση και εκτέλεση των πειραματικών δοκιμών και αναλύσεων, καθώς επίσης και την πολύτιμη συμβολή της στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, χωρίς τη συνεισφορά της οποίας, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας δεν θα ήταν εφικτή.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω και τον κ. Παναγιώτη Μιχαηλίδη, μέλος του εργαστηρίου, για την πολύ σημαντική βοήθεια που παρείχε τόσο κατά την διάρκεια παραγωγής των τροφίμων εκβολής, όσο και για τη λειτουργία του εργαστηριακού εκβολέα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τα μέλη του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών, Ιωάννα Κατσαβού, Παναγιώτα Ελένη και κ. Χρήστο Μπουκουβάλα, για τη βοήθειά τους σε τεχνικά θέματα, καθώς και για την καλή τους διάθεση καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που με πολλή αγάπη και κατανόηση μου συμπαραστάθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Μαστρογιάννης Αναστάσιος
Αθήνα 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει στρέψει το ενδιαφέρον των καταναλωτών στην κατανάλωση «έτοιμων» προϊόντων τα οποία όμως ταυτόχρονα διατηρούν τα διατροφικά τους χαρακτηριστικά. Επίσης, τα τελευταία χρόνια μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στη Μεσογειακή διατροφή, καθώς επίσης και στην κατανάλωση φυτικών βιοενεργών συστατικών τα οποία προάγουν την υγεία. Βασικό συστατικό της Μεσογειακής διατροφής αποτελούν τα λαχανικά, τα οποία είναι μια σπουδαία πηγή φυτικών ινών, βιταμινών, μετάλλων και άλλων βιοενεργών συστατικών. Η εκβολή είναι μια διεργασία τροφίμων η οποία μπορεί να παράγει μια μεγάλη ποικιλία «έτοιμων» προϊόντων με υψηλή διατροφική αξία από απλές πρώτες ύλες. Η αποδοχή των προϊόντων αυτών από μέρους των καταναλωτών βασίζεται στο σωστό σχεδιασμό των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους.

Ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ποιότητας των τροφίμων εκβολής. Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν τρόφιμα εκβολής κάτω από διάφορες συνθήκες εκβολής, συμπεριλαμβανομένων της θερμοκρασίας εκβολής και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκαν μίγματα ρυζάλευρου, νερού (υγρασία 14-20%) και αφυδατωμένης, μέσω ξήρανσης με κατάψυξη, σκόνης καρότου (5-10%) ώστε το μίγμα να είναι πολύ θρεπτικό και νόστιμο.

Μελετήθηκαν οι δομικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, συντελεστής διόγκωσης, πορώδες), οι λειτουργικές ιδιότητες (ικανότητα απορρόφησης νερού και ελαίου και ικανότητα διαλυτότητας σε νερό), οι οπτικές ιδιότητες (χρώμα πρώτης ύλης και τελικών προϊόντων), οι θερμικές ιδιότητες (ισόθερμες ρόφησης και μεταπτώσεις φάσεων των τελικών προϊόντων) και τέλος τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση, υφή, ολική αποδοχή) των τροφίμων εκβολής. Βρέθηκε ότι οι ιδιότητες που σχετίζονται και καθορίζουν την ποιότητα των προϊόντων εκβολής επηρεάζονται σημαντικά από τις παραμέτρους της διεργασίας. Επιπλέον, με προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα, αναπτύχθηκαν μαθηματικά πρότυπα τα οποία επιτρέπουν την πρόβλεψη των φυσικών ιδιοτήτων των τελικών προϊόντων εκβολής από τις συνθήκες εκβολής και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης.

ABSTRACT

The current way of life has turned the consumers' interest to the consumption of ready-to-eat products, which simultaneously maintain their nutritional characteristics. In the current years few years, much attention has been given to the Mediterranean diet, as well as to the consumption of bioactive components from natural sources which promote human health. A basic part of Mediterranean diet is vegetables, which contain significant amounts of dietary fibers, vitamins, minerals and other bioactive components. Extrusion is a food processing method which can produce a great variety of high nutritional value ready-to-eat products using common raw materials. Consumer acceptance of the extruded products is based on the optimization of attributes that define their quality.

The basic objective of this thesis is to determine the effects of extrusion conditions and material characteristics on properties and quality attributes of extruded products. For this purpose extruded foods were produced under various processing conditions, including extrusion temperature and screw speed. As raw material, blends of rice flour, water (water content 14-20%) and freeze dried carrot powder (5-10%) were used so as the mixture be very nutritious and tasty.

The properties that were investigated were structural (apparent density, true density, expansion ratio, porosity), functional (water and oil absorption index and water solubility index) properties, optical (raw material and final product color) properties, thermal (sorption isotherms and phase transition of extruded foods) properties and finally sensory characteristics (appearance, flavor, texture, total acceptance) of extruded foods. The results revealed that the properties that determine and are associated with the quality of the extrudates significantly were affected by the process parameters. Furthermore, mathematical models were developed according to the experimental data, which allow prediction of properties based on processing conditions and raw material characteristics.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΒΟΛΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	11
1.1 Εκβολή τροφίμων	11
1.2 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά εκβολέα.....	13
1.2.1 Εκβολείς μονού κοιλία	13
1.2.2 Εκβολείς διπλού κοιλία	14
1.2.3 Σύγκριση εκβολέων μονού και διπλού κοιλία	19
1.3 Ροή υλικών μέσω εκβολέων (Ρεολογικά χαρακτηριστικά)	20
2. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ	22
2.1 Καρότο	22
2.2 Ρυζάλευρο	24
2.2.1 Άμυλο.....	26
2.2.2 Διάχυση του νερού σε τρόφιμα που περιέχουν άμυλο	27
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	29
3.1 Αντικείμενο και στόχοι.....	29
3.2 Προετοιμασία δειγμάτων	30
3.3 Πειραματική διάταξη - Εκβολέας.....	31
3.5 Πειραματικός Σχεδιασμός.....	35
3.6 Εκβολή Δείγματος	36
4. ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ	38
4.1 Αντικείμενο και στόχοι.....	38
4.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	39
4.3 Μαθηματικό πρότυπο	41
4.4 Πειραματική διαδικασία μέτρησης ιδιοτήτων δομής	45
4.4.1 Προσδιορισμός Φαινόμενης πυκνότητας.....	45
4.4.2 Προσδιορισμός πραγματικής πυκνότητας	46
4.4.3 Στερεοσκοπία.....	47
4.5 Αποτελέσματα.....	48
4.5.1 Μεταβολές στη φαινόμενη πυκνότητα	48
4.5.2 Μεταβολές στο πορώδες.....	50

4.5.3	Μεταβολές στο συντελεστή διόγκωσης.....	52
4.6	Συμπεράσματα	56
4.6.1	Πραγματική πυκνότητα.....	56
4.6.2	Φαινόμενη πυκνότητα.....	56
4.6.3	Πορώδες.....	57
4.6.4	Συντελεστής διόγκωσης.....	57
5.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗ	59
5.1	Αντικείμενο και στόχοι.....	59
5.2	Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού λειτουργικών ιδιοτήτων	59
5.2.1	Ικανότητα απορρόφησης νερού και διαλυτότητα σε νερό.....	59
5.2.2	Ικανότητα απορρόφησης ελαίου.....	60
5.3	Αποτελέσματα.....	61
5.3.1	Μεταβολές στην Ικανότητα Απορρόφησης Ελαίου (IAE).....	61
5.3.2	Μεταβολές στην Ικανότητα Διαλυτότητας σε Νερό (IDN).....	63
5.3.3	Μεταβολές στην Ικανότητα Απορρόφησης Νερού (IAN).....	65
5.4	Συμπεράσματα	67
5.4.1	Ικανότητα απορρόφησης ελαίου (IAE)	67
5.4.2	Ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN)	68
5.4.3	Ικανότητα διαλυτότητας σε νερό (IDN).....	69
6.	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ	70
6.1	Αντικείμενο και στόχοι.....	70
6.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	71
6.2.1	Χρώμα και η μέτρηση του	71
6.2.2	Η κλίμακα Hunter L, a, b	72
6.2.3	Η κλίμακα CIELAB.....	75
6.2.4	Σύγκριση των Hunter L, a, b και CIELAB	77
6.3	Πειραματική διαδικασία μέτρησης οπτικών ιδιοτήτων	77
6.4	Αποτελέσματα.....	78
6.4.1	Μεταβολή της παραμέτρου L	78
6.4.2	Μεταβολή της παραμέτρου a	80
6.4.3	Μεταβολή της παραμέτρου b	82
6.4.4	Μεταβολή της παραμέτρου ΔE	84
6.5	Συμπεράσματα	86

6.5.1 Επίδραση της θερμοκρασίας εκβολής στις παραμέτρους L , a , b και ΔE ...	86
6.5.2 Επίδραση της υγρασίας τροφοδοσίας στις παραμέτρους L , a , b και ΔE ...	87
6.5.3 Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών στις παραμέτρους L , a , b και ΔE	87
6.5.4 Επίδραση της συγκέντρωσης του καρότου στην τροφοδοσία στις παραμέτρους L , a , b και ΔE	88
7. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ	89
7.1 Αντικείμενο και στόχοι.....	89
7.2 Πειραματική διαδικασία μέτρησης θερμικών ιδιοτήτων	90
7.2.1 Προσδιορισμός ισόθερμου ροφήσεως νερού.....	90
7.2.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC).....	90
7.3 Αποτελέσματα.....	91
7.5 Συμπεράσματα	94
7.5.1 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g)	94
7.5.2 Ισόθερμοι Ροφήσεως Νερού	95
8. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	97
8.1 Αντικείμενο και στόχοι.....	97
8.2 Πειραματική διαδικασία οργανοληπτικής αξιολόγησης.....	98
8.3 Αποτελέσματα.....	100
8.4 Συμπεράσματα	102
9. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	104
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	110

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΚΒΟΛΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

1.1 Εκβολή τροφίμων

Τα δημητριακά και τα προϊόντα δημητριακών αποτελούν και θα συνεχίσουν να αποτελούν ένα σημαντικό και βασικό μέρος της διατροφής του ανθρώπου. Μεταξύ των προϊόντων αυτών, πολύ σπουδαία είναι τα δημητριακά πρωινού και τα προϊόντα σνακ (διογκωμένα και μη). Τα τελευταία περιλαμβάνουν τρόφιμα για ελαφριά γεύματα ή για φαγητό μεταξύ των γευμάτων (πρόχειρο φαγητό).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στη βιομηχανία των προϊόντων σνακ είναι πολυάριθμες και μεταβάλλονται συνεχώς. Τα προϊόντα εκβολής παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυνατότητα ανάπτυξης μεταξύ των προϊόντων της κατηγορίας αυτής. Η τεχνολογία της εκβολής προσφέρει δυνατότητες για ανάπτυξη διεργασιών με σκοπό την παραγωγή μιας ποικιλίας προϊόντων με διαφορετικά σχήματα, υφή και χρώμα, τα οποία θα είναι υψηλά αποδεκτά από τον καταναλωτή.

Οι Rossen και Miller (1973) πρότειναν τον εξής ορισμό για την εκβολή τροφίμων: *«Η εκβολή τροφίμων είναι μια διεργασία στην οποία συστατικά τροφίμων ωθούνται να ρέουν, υπό σταθερές ή μεταβαλλόμενες συνθήκες ανάμιξης, θέρμανσης και διάτμησης, μέσα από μια μήτρα η οποία είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μορφοποιεί ή ακόμη να προκαλεί απότομη διόγκωση και ξήρανση του υλικού».*

Η εκβολή τροφίμων έχει εφαρμοστεί για πολλά χρόνια. Αρχικά ο ρόλος της περιορίστηκε στη μίξη και τη διαμόρφωση μακαρονιών και σβόλους δημητριακών. Τις τελευταίες δεκαετίες, ο εκβολέας τροφίμων θεωρείται ως ένας υψηλής θερμοκρασίας και μικρού χρονικού διαστήματος βιολογικός αντιδραστήρας που μετασχηματίζει ποικίλα ακατέργαστα συστατικά σε τροποποιημένα ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα. Τα κίνητρα για αυτές τις εξελίξεις είναι οι ακόλουθες απαιτήσεις της επεξεργασίας τροφίμων (Guy, 2001):

- ✓ Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής, αυτοματοποιημένη παραγωγή και απουσία αποβλήτων.
- ✓ Μειωμένο κόστος, μέσω εξοικονόμησης πρώτων υλών, ενέργειας, εργατικών και κεφαλαίου.
- ✓ Επεξεργασία σχετικά ξηρών, ιξωδών υλικών.
- ✓ Βελτιωμένα χαρακτηριστικά των τροφίμων.
- ✓ Έλεγχος των θερμικών αλλαγών των συστατικών των τροφίμων.

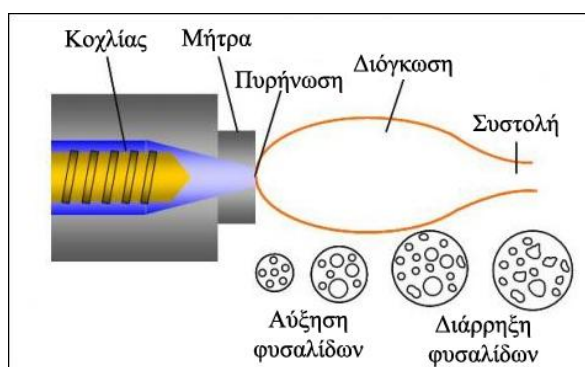
Η θερμή εκβολή είναι η μόνη από τις μεθόδους θερμικής κατεργασίας των τροφίμων κατά την οποία το υλικό υποβάλλεται σε έντονη μηχανική καταπόνηση. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη φύση των προϊόντων εκβολής είναι οι συνθήκες λειτουργίας του εκβολέα και οι ρεολογικές ιδιότητες του τροφίμου. Οι πιο σπουδαίες λειτουργικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η διάμετρος του ανοίγματος της μήτρας μορφοποίησης, η παροχή του υλικού τροφοδοσίας και η ταχύτητα διατμήσεως. Η ταχύτητα διατμήσεως επηρεάζεται από τον εσωτερικό σχεδιασμό του

χιτώνιου (barrel) και την ταχύτητα και τη γεωμετρία του κοχλίου (ή κοχλιών). Επιπλέον, οι ιδιότητες του υλικού τροφοδοσίας επηρεάζουν σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων εκβολής. Οι πιο σπουδαίοι παράγοντες είναι η περιεκτικότητα υγρασίας, η φυσική κατάσταση των υλικών και η χημική τους σύνθεση, ιδιαιτέρως το ποσοστό και ο τύπος του αμύλου, των πρωτεϊνών, των λιπών και των σακχάρων (Guy, 1994).

Η θερμή εκβολή είναι μια HTST (High-Temperature, Short-Time) διεργασία, η οποία ελαχιστοποιεί την απώλεια θρεπτικών συστατικών από τα τρόφιμα και μειώνει το μικροβιακό φορτίο. Ο μεγάλος χρόνος ζωής των προϊόντων αυτών οφείλεται στην μικρή ενεργότητα ύδατος, συνήθως στην περιοχή του 0,1 με 0,4.

Οι εκβολείς ταξινομούνται σύμφωνα με τη μέθοδο λειτουργίας, ως ψυχροί και θερμοί, και σύμφωνα με τη μέθοδο κατασκευής, ως μονού ή διπλού κοχλίου. Οι αρχές λειτουργίας είναι οι ίδιες για όλους τους τύπους. Αρχικά, το υλικό τροφοδοσίας με κοκκώδη μορφή τροφοδοτείται στο χιτώνιο του εκβολέα. Κατόπιν, ένας ή δύο παράλληλα διατεταγμένοι κοχλίες στο εσωτερικό ερμητικά κλειστού κελύφους περιστρέφονται, μεταφέρουν, συμπιέζουν και θερμαίνουν διαδοχικά τα συστατικά του υλικού τροφοδοσίας. Σταδιακά κατά τη θέρμανση, το υλικό, καθώς περιστρέφεται εντός του κελύφους, μετατρέπεται σε πλαστικοποιημένη συνεχή μάζα. Το πλαστικοποιημένο υλικό όταν εξωθείται προς τη μήτρα μορφώσεως στην έξοδο

του εκβολέα και εξέρχεται από αυτήν, διογκώνεται απότομα (puffing) λόγω της πτώσης πίεσης και της απότομης εκτόνωσης του νερού στο εσωτερικό του υλικού με αποτέλεσμα το σχηματισμό αφράτων τελικών προϊόντων (Εικόνα 1.1). Ταυτόχρονα, κατά την έξοδο από τη μήτρα μορφώσεως το υλικό κόβεται είτε με περιστρεφόμενα μαχαίρια ή με λαιμητόμο. Ανάλογα με τη μήτρα μορφώσεως, είναι δυνατό να δημιουργηθούν διάφορα σχήματα όπως ράβδοι, σφαίρες, "λουκουμάδες", σωλήνες, λωρίδες, στριφτάρια ή κοχύλια. Μερικά προϊόντα εκβολής είναι κατάλληλα να δεχθούν επικάλυψη (Mercieretal, 1989).



Εικόνα 1.1 Σχηματικό διάγραμμα διόγκωσης προϊόντων εκβολής κατά την έξοδο από την μήτρα.

1.2 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά εκβολέα

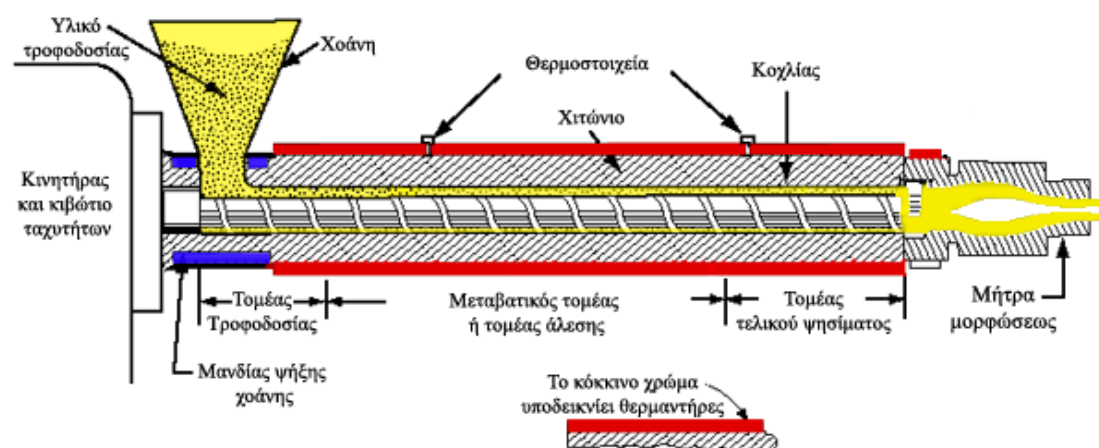
1.2.1 Εκβολείς μονού κοχλίας

Οι εκβολείς αυτοί περιλαμβάνουν ένα μόνο κοχλία και μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με την έκταση της διατμητικής δράσεως επί του τροφίμου σε (Fellows, 2000; Frame, 1994):

1. Υψηλής διατμήσεως (δημητριακά πρωινού και snack)
2. Ενδιαμέσου διατμήσεως (breadings και ενδιαμέσου υγρασίας τροφές κατοικίδιων)
3. Χαμηλής διατμήσεως (πάστα και προϊόντα κρέατος)

Οι κοχλίες των μονοκόχλιων εκβολέων αποτελούνται από τρεις τομείς (όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2):

- α) τον τομέα τροφοδοσίας,
- β) το μεταβατικό τομέα ή τομέα άλεσης ή μαλάξεως, και
- γ) τον τομέα τελικού ψησίματος ή μετρήσεως από όπου το υλικό εξωθείται στη μήτρα μορφώσεως.



Εικόνα 1.2 Μηχανικά μέρη ενός εκβολέα μονού κοχλίας.

Ο κοχλίας εκβολής, καθώς περιστρέφεται μέσα στον ίδιον διαστάσεων θάλαμο, μεταφέρει, συμπιέζει και θερμαίνει τα υλικά τροφοδοσίας και τα διαμορφώνει σε μια συνεχή εύπλαστη μάζα. Η αναλογία της επιφάνειας ροής στον τομέα τροφοδοσίας προς την αντίστοιχη στον τομέα μέτρησης, ορίζεται ως λόγος συμπίεσης και ποικίλει από 1:1 έως 5:1 για τους διαφορετικούς τύπους εκβολέων (Harper, 1989). Η μείωση του βάθους αυλακώσεως του κοχλίας ή άλλοι περιορισμοί στον τελευταίο τομέα του εκβολέα, προκαλούν την πλήρη πλήρωση του με το υλικό εκβολής. Στον τελευταίο τομέα του εκβολέα, ο κοχλίας εκτός από το μικρό βάθος αυλακώσεως έχει και μεγάλη κλίση σπειρώματος με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλές πιέσεις και μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας λόγω μετατροπής της μηχανικής σε θερμική ενέργεια. Η συμπίεση αυξάνεται γρήγορα στο μεταβατικό τομέα, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του μεγαλύτερου τμήματος της μηχανικής ενέργειας που προσφέρεται για την περιστροφή του κοχλίας σε θερμότητα, με αντίστοιχη γρήγορη άνοδο της

θερμοκρασίας των συστατικών τροφοδοσίας. Η ειδική μηχανική ενέργεια, που ορίζεται ως η καθαρή μηχανική ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα δια του ρυθμού ροής μάζας, αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηρισμό λειτουργίας των διατάξεων εκβολής.

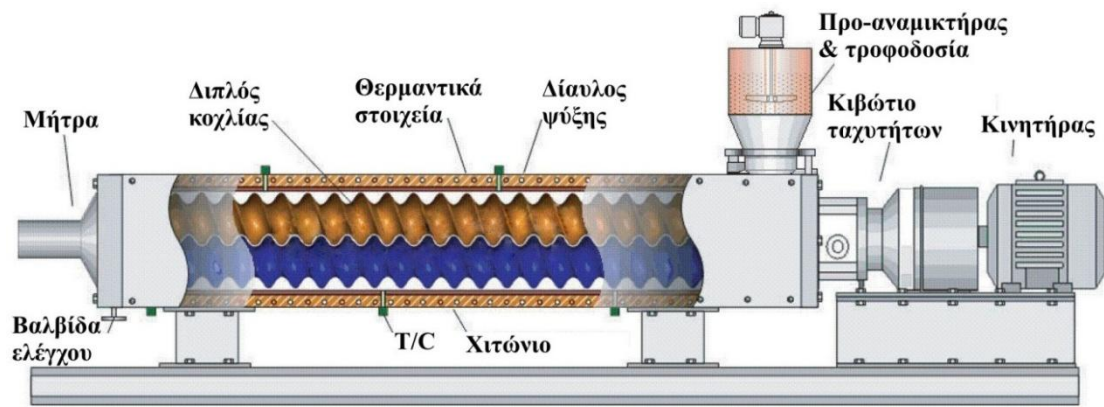
Το σπείρωμα στον κοχλία του εκβολέα μεταφέρει τα συστατικά κατά μήκος του θαλάμου. Η μειωμένη ολισθηρότητα των τοιχωμάτων του θαλάμου εμποδίζει την περιστροφή της τροφής μαζί με τον κοχλία, επιτρέποντας, λόγω της προς τα εμπρός φοράς του σπειρώματος, την τελική ώθηση του υλικού κατά μήκος του θαλάμου. Αυτός ο μηχανισμός μεταφοράς της πρώτης ύλης είναι κοινός τόσο για τον μονού όσο και για τον διπλού κοχλία εκβολέα.

Η ταχύτητα της ροής του υλικού είναι ευθέως ανάλογη προς την ταχύτητα περιστροφής του κοχλία. Επειδή το κανάλι του κοχλία είναι συνεχές, λειτουργεί επίσης ως δίοδος για μια ροή που προκαλείται από την πίεση. Αυτή η ροή είναι συνήθως αντίθετη σε διεύθυνση προς την προηγούμενη, λόγω της συγκριτικά υψηλότερης πίεσης πίσω από τη μήτρα απ' ότι στο στόμιο τροφοδοσίας. Η διαρροή στο διάκενο μεταξύ του άκρου του κοχλία και του κυλίνδρου ή στις αυλακώσεις του κυλίνδρου μειώνει επιπλέον την τελική παραγωγή, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Στον εκβολέα μονού κοχλία ο θάλαμος πρέπει να επιτυγχάνει την κατάλληλη μεταφορά του υλικού, γι' αυτό δεν είναι επιθυμητό να διαθέτει λεία εσωτερική επιφάνεια. Η πρώτη ύλη πρέπει να μην περιστρέφεται μαζί με τον κοχλία και για να εξασφαλιστεί αυτό, η εσωτερική επιφάνεια του θαλάμου πρέπει να διαθέτει σπειροειδή ή οριζόντια αυλάκια (Rokey, 2000).

Η λειτουργία των εκβολέων μονού κοχλία, εξαρτάται από τις απαιτήσεις πίεσης της μήτρας, την ολισθηρότητα στα τοιχώματα του κυλίνδρου (που ελέγχεται από τη θερμοκρασία στα τοιχώματα του κυλίνδρου, την παρουσία αυλακώσεων στα τοιχώματα του κυλίνδρου, ή και τα δύο), και το βαθμό στον οποίο οι αυλακώσεις του κοχλία είναι πλήρεις. Η πληρότητα του κοχλία καθορίζεται από το βαθμό τροφοδοσίας, την ταχύτητα του κοχλία, τα χαρακτηριστικά τήξεως και το ιξώδες. Ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων ορίζει την ακτίνα δράσης και την ευελιξία των εκβολέων μονού κοχλία εκτός και αν γίνουν μεγάλες μετατροπές στον κοχλία, τη δυναμικότητα του κινητήρα ή / και στην αναλογία του μήκους του κυλίνδρου (L) προς τη διάμετρο (D) (Harper, 1989).

1.2.2 Εκβολείς διπλού κοχλία

Τα τελευταία χρόνια αυξήθηκαν οι απαιτήσεις για νέα προϊόντα με περίπλοκα σχήματα και μικρό μέγεθος, η παραγωγή των οποίων ήταν πέρα από τις δυνατότητες των εκβολέων μονού κοχλία. Ορισμένες από τις απαιτήσεις αυτές κλήθηκαν να καλύψουν οι εκβολείς διπλού κοχλία (Εικόνα 1.3). Στους εκβολείς αυτούς οι δύο κοχλίες έχουν το ίδιο μήκος και βρίσκονται μέσα στον ίδιο θάλαμο. Πρόκειται για περισσότερο περίπλοκα συστήματα από τους εκβολείς μονού κοχλία, αλλά ταυτόχρονα έχουν μεγαλύτερη ευκαμψία και καλύτερο έλεγχο. Οι εκβολείς διπλού κοχλία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη σχετική κίνηση των κοχλιών τους στους εξής τύπους (Riaz, 2001):



Εικόνα 1.3 Εκβολέας διπλού κοχλία.

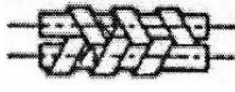
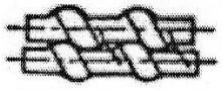
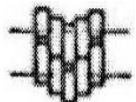



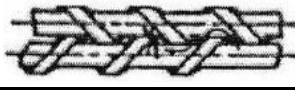



- Εκβολείς διπλού κοχλία αντίστροφης περιστροφής (counterrotating)
- Εκβολείς διπλού κοχλία συμπεριστροφής (corotating)

Πέρα από την κατηγοριοποίηση με βάση τη σχετική φορά περιστροφής, οι δύο κατηγορίες εκβολέων μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του ενός κοχλία σε σχέση με τον άλλο, στις εξής δύο υποκατηγορίες:

- α) στους διαπλεγμένους (intermeshing)
- β) στους μη διαπλεγμένους (non-intermeshing)

Οι μη διαπλεγμένοι εκβολείς διπλού κοχλία είναι ουσιαστικά σαν δύο μονοκόχλιοι εκβολείς που βρίσκονται ο ένας δίπλα στον άλλο και οι οποίοι μοιράζονται μόνο ένα πολύ μικρό τμήμα του θαλάμου εκβολής. Επομένως, οι μηχανισμοί που υπεισέρχονται κατά την εκβολή καθώς επίσης και οι δυνατότητες που έχουν προσεγγίζουν αυτές των εκβολέων μονού κοχλία. Στους διαπλεγμένους εκβολείς οι εξοχές της έλικας του πρώτου κοχλία εισχωρούν στα κανάλια του δεύτερου, ενώ και οι δύο βρίσκονται σε έναν θάλαμο η διατομή του οποίου έχει τη μορφή του «8». Αποτέλεσμα αυτής της διαμόρφωσης είναι ο περιορισμός στο ελάχιστο των κενών, γεγονός που αποτρέπει την προς τα πίσω κίνηση του υλικού και επιτρέπει την προώθηση, την αποτελεσματική μίξη και τον αυτοκαθαρισμό κυρίως των κοχλιών συμπεριστροφής.

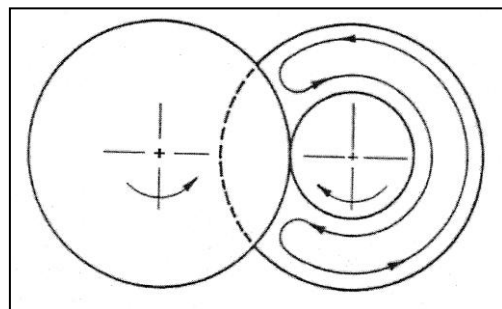
Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται οι διάφορες κατηγορίες εκβολέων διπλού κοχλία σύμφωνα με τους τύπους διαμόρφωσης των κοχλιών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η σχετική φορά περιστροφής των κοχλιών και ο βαθμός εμπλοκής των κοχλιών είναι βασικά σημεία διαφοροποίησης.

ΕΜΠΛΟΚΗ ΚΟΧΛΙΩΝ		ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ	ΣΥΜΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ
ΔΙΑΠΛΕΓΜΕΝΟΙ	ΠΛΗΡΩΣ ΔΙΑΠΛΕΓΜΕΝΟΙ	ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ		ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ
		ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ	ΚΟΧΛΙΕΣ 
		ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ	ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΛΛΑ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ	ΔΙΣΚΟΙ ΑΛΕΣΗΣ 
	ΜΕΡΙΚΩΣ ΔΙΑΠΛΕΓΜΕΝΟΙ	ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ		ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ
		ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ		
				
ΜΗ ΔΙΑΠΛΕΓΜΕΝΟΙ	ΜΗ ΔΙΑΠΛΕΓΜΕΝΟΙ	ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ		

Πίνακας 1.1 Τύποι εκβολέων διπλού κοχλία.

Εκβολείς διπλού κοχλία αντίστροφης περιστροφής

Όταν οι κοχλίες είναι πλήρως διαπλεγμένοι, σχηματίζονται μεταξύ των σπειρωμάτων τους μεμονωμένοι θάλαμοι σχήματος C (Σχήμα 1.1). Οι κοχλίες αυτοί απαιτούν μικρή σχετικά ταχύτητα περιστροφής. Η ανάμιξη του υλικού λαμβάνει χώρα κυρίως μέσα στους θαλάμους, εφόσον αυτοί διαχωρίζονται κατά μήκος και ακτινικά από τους γειτονικούς τους θαλάμους. Αυτό το χαρακτηριστικό δίδει στενή κατανομή του χρόνου παραμονής (RTD, Residence time distribution). Ένας εκβολέας με κοχλίες αντίθετης περιστροφής κατασκευάζεται με



Σχήμα 1.1 Σχηματισμός θαλάμων τύπου "C" σε πλήρως διαπλεγμένο εκβολέα αντίστροφης περιστροφής κοχλίων.

κωνικούς κοχλίες. Πιστεύεται ότι τέτοιου είδους κοχλίες βελτιώνουν το θερμοκρασιακό έλεγχο της διεργασίας και την ανάμιξη των πρώτων υλών (E11, 1984).

Εκβολείς διπλών συμπεριστρεφόμενων κοχλιών.

Οι συμπεριστρεφόμενοι, αυτοκαθαριζόμενοι εκβολείς διπλού κοχλία έχουν γίνει δημοφιλείς στην επεξεργασία τροφών, λόγω της μεγάλης δυναμικότητάς τους και της αυξημένης δυνατότητας ανάμιξης των υλικών. Λόγω της ευρείας χρήσης τους, τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους αναλύονται εδώ σε μεγαλύτερη έκταση απ' ότι των άλλων μοντέλων. Οι κοχλίες τους έχουν καθορισμένους τομείς που εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες που απαιτούνται από τη διεργασία εκβολής. Οι τομείς των κοχλιών μπορούν να έχουν είτε κυκλικά είτε τετράγωνα κανάλια και μπορούν να ταξινομηθούν ως πλήρως εμπλεκόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι. Οι αυτοκαθαριζόμενοι κοχλίες προλαμβάνουν τη συσσώρευση των συστατικών στις επιφάνειες των καναλιών που μπορεί να προκαλέσουν υπερχειλίση και να διακόψουν τη μεταφορική δράση. Το βάθος των αυλακώσεων είναι σταθερό σε όλο το μήκος των κοχλιών και είναι ίσο με την απόσταση κατά την οποία επικαλύπτονται οι εξωτερικές ακτίνες των κοχλιών.

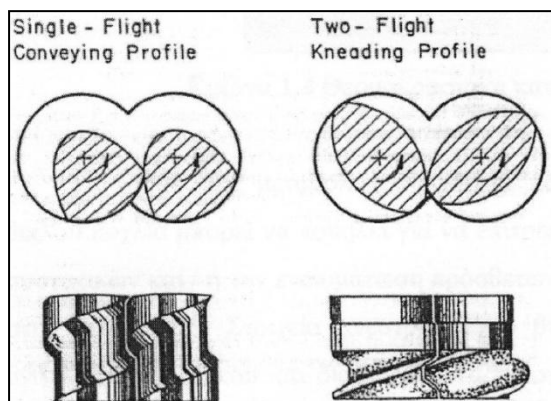
Οι προδιαγραφές των κοχλιών πρέπει να ανταποκρίνονται αρχικά στη μεταφορά κοκκωδών συστατικών στη μηχανή. Η γωνία κλίσης στον τομέα τροφοδοσίας είναι περίπου 15° και παράγει μια πραγματική γωνία μεταφοράς πάνω από 30° ή περίπου τρεις φορές περισσότερο από τη γωνία μεταφοράς ενός εκβολέα απλού κοχλία με όμοιο βήμα (Ziminski και Eise, 1980). Η ικανότητα μεταφοράς των εκβολέων διπλού κοχλία τους επιτρέπει να χειρίζονται κολλώδη και / ή σε άλλες περιπτώσεις δύσκολα μεταφερόμενα συστατικά τροφών. Η μεταφορά περιλαμβάνει την εναλλακτική μεταφορά του υλικού από τον ένα κοχλία στον άλλο. Σε αντίθεση με το θάλαμο στον εκβολέα μονού κοχλία, μεγάλο μέρος του θαλάμου δεν είναι εντελώς πληρωμένο.

Η σχεδίαση των κοχλιών σε αυτούς τους εκβολείς επηρεάζει σημαντικά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Οι κοχλίες μεταφοράς είναι μονής, διπλής ακόμη και τριπλής αυλάκωσης. Αυτό αναφέρεται στον αριθμό των παράλληλων αυλακώσεων σε όλο το μήκος του κοχλία. Η σχεδίαση ενός τομέα πλήρους εμπλοκής, μονής αυλάκωσης, έχει μικρότερη δυναμικότητα ροής, μεγαλύτερη δυνατότητα πίεσης και μικρότερη κατανομή χρόνου παραμονής σε σχέση με μία σχεδίαση διπλής αυλακώσεως με το ίδιο βάθος. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι αποτέλεσμα του μειωμένου κενού όγκου και της εγκάρσιας μεταφοράς μεταξύ των κοχλιών. Παρ' όλα αυτά, οι κοχλίες διπλής και τριπλής αυλάκωσης παράγουν έναν πιο ομοιόμορφο βαθμό διάτμησης σε όλο το βάθος του καναλιού απ' ότι οι κοχλίες μονής αυλάκωσης, το οποίο μπορεί να συντελέσει στην αυξημένη ομοιογένεια της επεξεργασίας.

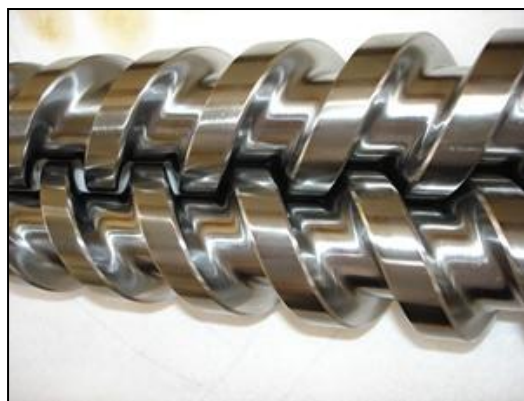


Εικόνα 1.4 Κοχλίες πολλαπλών αυλακώσεων για εκβολέα διπλού κοχλία.

Δίσκοι ανάμιξης χρησιμοποιούνται περιοδικά κατά μήκος του κοχλίου, για να αυξήσουν τη διασπορά της μηχανικής ενέργειας και να βελτιώσουν την ανάμιξη. Ένα παράδειγμα στοιχείου με δύο λοβούς που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές φαίνεται στο Σχήμα 1.2 & Εικόνα 1.5. Η κατάτμηση αυξάνεται με τον αριθμό των λοβών στο δίσκο. Η σχετική θέση των δίσκων στον άξονα μπορεί να διευθετηθεί έτσι ώστε οι απολήξεις τους να σχηματίζουν μια ελικοειδή μήτρα, που επίσης δημιουργεί κάποια μεταφορική δράση.



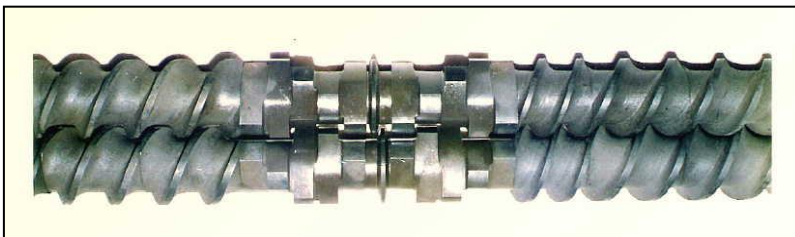
Σχήμα 1.2 Μορφή στοιχείων κοχλίων: Με απλό πτερύγιο πλήρους ανάδευσης και με διπλού τύπου πτερύγιο για μάλαξη.



Εικόνα 1.5 Κοχλίες με απλό πτερύγιο για μεταφορά υλικού.

Η ανάμιξη, η μεταφορά θερμότητας και η ιξώδης διασπορά της αρχικής μηχανικής ενέργειας αυξάνονται στους τομείς του εκβολέα διπλού κοχλίου που είναι εντελώς πλήρεις. Ένας περιορισμός στην κατασκευή του κοχλίου ή στην έξοδο, έχει ως αποτέλεσμα την πληρότητα των τομέων. Κοινά παραδείγματα περιοριστικών μηχανισμών είναι η μήτρα εξόδου, κοχλίες ανεστραμμένου βήματος, κοχλίες κομμένων αυλακώσεων και φράγματα. Συνήθως προκαλείται φθορά στα σημεία περιορισμού και στα στοιχεία των κοχλίων που προηγούνται, απαιτώντας συχνότερη αντικατάσταση.

Οι αναμικτικές δυνατότητες των εκβολέων διπλού κοχλίου αυξάνουν τη μεταφορά θερμότητας στα υδαρή συστατικά τροφών. Για να είναι αποτελεσματικοί, βασική είναι η επαφή με τα τοιχώματα του θαλάμου, γι' αυτό οι τομείς ανταλλαγής θερμότητας πρέπει να είναι εντελώς πλήρεις. Επειδή τα στοιχεία ανάμιξης στους τομείς μεταφοράς θερμότητας προσθέτουν αξιοσημείωτη μηχανική ενέργεια, οι μηχανές διπλού κοχλίου λειτουργούν καλύτερα ως θερμαντές παρά ψύκτες. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται αύξηση της αναλογίας μήκους (L) προς διάμετρο (D), για να λάβουμε την απαιτούμενη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Για αυτό το σκοπό



Εικόνα 1.6 Κοχλίες συμπεριστροφής. Διακρίνονται τα στοιχεία άλεσης.

χρησιμοποιούνται μηχανές που έχουν λόγο L/D μεγαλύτερο από 20:1. (Harper, 1989, Ziminski et al. 1980)

1.2.3 Σύγκριση εκβολέων μονού και διπλού κοχλίου

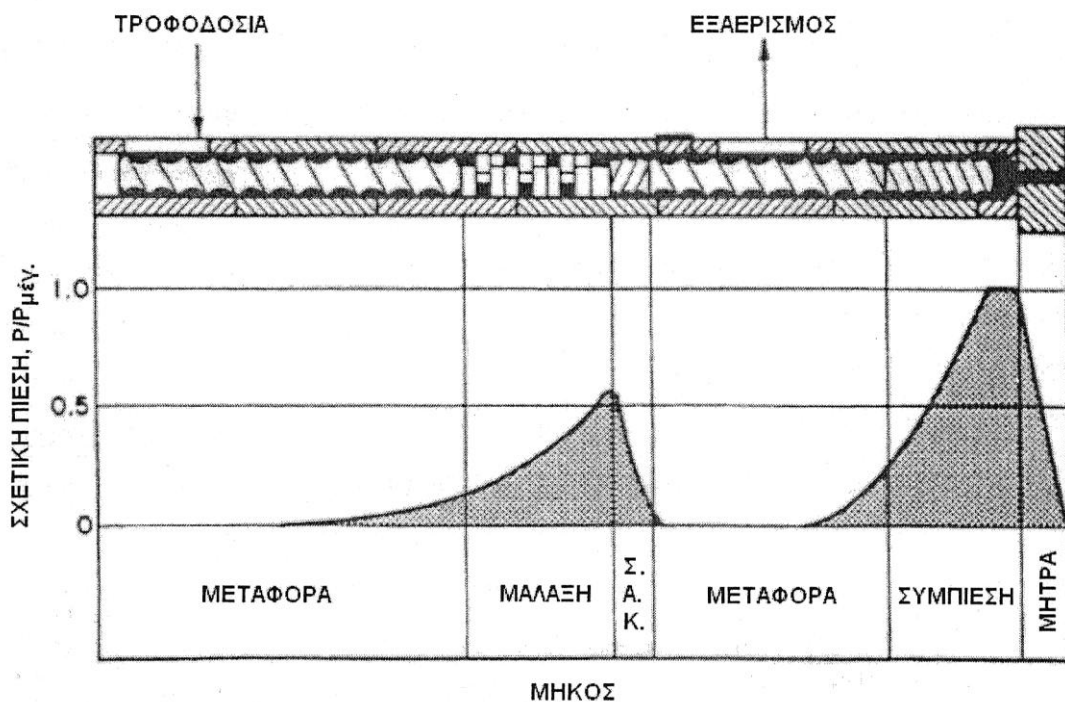
Ο Πίνακας 1.2 περιλαμβάνει τα κύρια στοιχεία σύγκρισης ενός εκβολέα μονού κοχλίου και ενός εκβολέα διπλού κοχλίου περιστροφής (Harper, 1986, 1989, 1992, Millauer, 1987).

Χαρακτηριστικά	Μονός κοχλίας	Διπλός κοχλίας
Σχετικό κόστος κεφαλαίου/μονάδα:		
Εκβολέας	1,0	1,5-2,0
Σύστημα	1,0	0,9-1,3
Σχετική συντήρηση	1,0	1,0-2,0
Παροχή ενέργειας		
Με συσκευή προκατεργασίας	Μέχρι 50% από τον ατμό	Δεν χρησιμοποιείται
Χωρίς συσκευή προκατεργασίας	Από τη μηχανική ενέργεια	Συνδυασμός μηχανικής ενέργειας & θερμικής ενέργειας
Κοχλίας		
Γωνία μεταφοράς	≈10°	≈30°
Φθορά	Υψηλότερη στην έξοδο και στη ζώνη μετάπτωσης	Υψηλότερη σε σημεία του κοχλίου που περιορίζεται η ροή και στα στοιχεία μάλαξης
Θετική εκτόπιση	Όχι	Όχι
Αυτοκαθαρισμός / σκούπισμα	Όχι	Ναι
Μεταβλητό ύψος πτερυγίου	Ναι	Όχι
Λόγος μήκους / διαμέτρου κοχλίου	4-25	10-40
Ανάμιξη	Φτωχή	Καλή
Σχετική κατανομή χρόνου παραμονής	1,5	1,0
Κινητήρας		
Σχετική ροπή/πίεση	>5,0	1,0
Σχετική ισχύς	>2,5	1,0
Σχετική ταχύτητα κοχλίων	1,0-3,0	1,0
Μετάδοση θερμότητας	Φτωχή	Καλύτερη στα γεμάτα μέρη
Λειτουργία		
Υγρασία	12-35%	6% έως πολύ υψηλή
Συστατικά	Ρέοντα κοκκώδη υλικά	Ευρεία περιοχή
Ευελιξία	Περιορισμένη	Μεγάλη

Πίνακας 1.2 Κύρια στοιχεία σύγκρισης εκβολέα μονού και διπλού κοχλίου.

1.3 Ροή υλικών μέσω εκβολέων (Ρεολογικά χαρακτηριστικά)

Η μεταβολή της πίεσης κατά τη ροή του υλικού στον εκβολέα είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τον αερισμό και την μερική ψύξη των συστατικών καθώς και την ενσωμάτωση προσθέτων. Η μεταβολή αυτή απεικονίζεται στο γράφημα του Σχήματος 1.3. Τα στοιχεία αντίθετης κλίσης (Σ.Α.Κ.) προκαλούν την πλήρωση των δίσκων μάλαξης με υλικό με αποτέλεσμα τη δαπάνη μεγάλου ποσού μηχανικής ενέργειας. Στη συνέχεια, η πίεση μειώνεται απότομα στο τμήμα πτερυγίων αντίθετης κλίσης, διευκολύνοντας έτσι την απομάκρυνση των πτητικών ουσιών και την εκτόνωση της υγρασίας. Στα αμέσως επόμενα τμήματα, το υλικό μεταφέρεται υπό πίεση και εξωθείται στη μήτρα. Για την επίτευξη παρόμοιων αποτελεσμάτων με εκβολείς απλού κοχλία, χρησιμοποιούνται δύο εκβολείς σε σειρά. Ο πρώτος προετοιμάζει και ψήνει

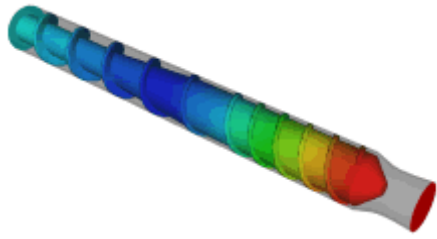


Σχήμα 1.3 Μεταβολή πίεσης κατά μήκος θαλάμου εκβολέα διπλού κοχλία (Σ.Α.Κ.: Στοιχεία Αντίθετης Κλίσης)

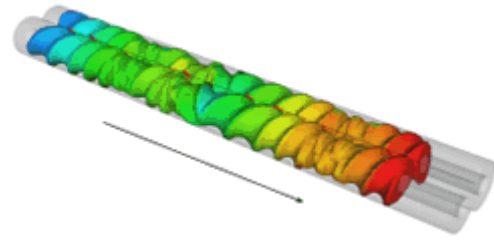
τις πρώτες ύλες και τις προωθεί στον δεύτερο εκβολέα, ο οποίος διαμορφώνει το τελικό προϊόν.

Το τελευταίο τμήμα του εκβολέα συντελεί στην ανάπτυξη της κατάλληλης πίεσης για την ώθηση του προϊόντος μέσω της μήτρας. Η ζύμη πρέπει να είναι παντελώς αναμεμιγμένη και πιεσμένη ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιομορφία της ροής διαμέσου των οπών της μήτρας. Δυστυχώς, τις περισσότερες φορές, η ροή στα τελευταία τμήματα δεν είναι πλήρως ομοιόμορφη με αποτέλεσμα όταν χρησιμοποιηθεί μήτρα πολλών οπών να παράγονται προϊόντα ανόμοιου σχήματος (Miller, 1985). Για να παρακαμφθεί αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει η ροή να οδηγηθεί σε ένα μονό κανάλι πριν διανεμηθεί στις χωριστές οπές της μήτρας.

Η κατανομή της πίεσης κατά μήκος του θαλάμου δίνεται παραστατικά στις παρακάτω Εικόνες (1.7, 1.8). Το κόκκινο χρώμα υποδεικνύει περιοχές υψηλής πίεσης.



Εικόνα 1.7 Προβλεπόμενη κατανομή πίεσης σε εκβολέα μονού κοιλία.



Εικόνα 1.8 Προβλεπόμενη κατανομή πίεσης σε εκβολέα διπλού κοιλία. Το βέλος υποδεικνύει την κατεύθυνση της ροής.

2. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον των καταναλωτών έχει στραφεί στην κατανάλωση τροφίμων αυξημένης διατροφικής αξίας που αποτελούνται από σημαντικά ποσοστά βιταμινών, μετάλλων, φυτικών ινών κτλ. Επιπλέον, μεγάλη έμφαση έχει δοθεί και στα οφέλη της Μεσογειακής διατροφής η οποία θεωρείται μια από της πιο υγιεινές διατροφές του κόσμου. Βασικό συστατικό της Μεσογειακής διατροφής αποτελούν τα λαχανικά, τα οποία είναι μια σπουδαία πηγή φυτικών ινών, βιταμινών, μετάλλων και άλλων βιοενεργών συστατικών. Για το λόγο γίνεται προσπάθεια παραγωγής τροφίμων εκβολής, τα οποία είναι αποδεκτά από τους καταναλωτές αλλά ταυτόχρονα είναι υψίστης ποιότητας και αυξημένων διατροφικών χαρακτηριστικών. Στο παρελθόν οι J. Vainionpää et al. 1989 καθώς και οι Aamir Hussain Dar et al. 2011, είχαν μελετήσει τις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με προσθήκη καρότου.

Από τα λαχανικά, το καρότο αποτελεί πλούσια πηγή θρεπτικών συστατικών για τον οργανισμό και η κατανάλωσή του συμβάλει ιδιαίτερα στην διατήρηση της υγείας του ανθρώπου.

2.1 Καρότο

Με έντονο πορτοκαλί χρώμα και γλυκιά γεύση, το καρότο αποτελεί μια θρεπτική βόμβα για τον οργανισμό. Η ρίζα του καρότου (Εικόνα 2.1), δηλαδή το πορτοκαλί μέρος του, είναι πλούσιο σε β-καροτίνη, μία ουσία η οποία όταν λαμβάνεται από τον ανθρώπινο οργανισμό μετατρέπεται σε βιταμίνη Α. Η β-καροτίνη είναι επίσης ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό, εξαιρετικά αποτελεσματικό στην άμυνα του οργανισμού απέναντι στον καρκίνο, ιδιαίτερα μάλιστα απέναντι στον καρκίνο του πνεύμονα.



Εικόνα 2.1 Καρότα

Πρόσφατες έρευνες κάνουν λόγο για ευεργετικές επιδράσεις της β-καροτίνης στην πρόληψη εγκεφαλικών επεισοδίων και καρδιακών νοσημάτων. Επιπλέον, έχει

αποδειχθεί ότι τα καρότα παρέχουν στον οργανισμό μας ικανοποιητικές ποσότητες βιταμίνης Κ, C και Β6 καθώς επίσης και σιδήρου, μαγανίου, καλίου και χαλκού. Επίσης, τα καρότα περιέχουν μεγάλες ποσότητες φυτικών ινών, που είναι πολύ σημαντικές για την πέψη των τροφών. Ωστόσο, οι φυτικές ίνες μπορεί να «παγιδεύσουν» το β-καροτένιο, γεγονός που καθιστά δύσκολο για το σώμα να το απελευθερώσει. Με το ελαφρύ μαγείρεμά τους, κάτι που συμβαίνει κατά τη διάρκεια τις εκβολής, η β-καροτίνη ελευθερώνεται από τις φυτικές ίνες κι έτσι το σώμα μπορεί να την απορροφήσει καλύτερα.

Το καρότο κάνει πολύ καλό στην όραση. Η έλλειψη βιταμίνης Α προκαλεί δυσκολίες στην όραση κατά τη νύχτα. Στον αμφιβληστροειδή, η βιταμίνη Α μετατρέπεται σε χρωστική ουσία που είναι απαραίτητη για τη νυχτερινή όραση. Παράλληλα, πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει ότι βοηθά τον οργανισμό να απορροφά ευκολότερα ασβέστιο. (www.carrotmuseum.co.uk)

Παρακάτω παρατίθεται αναλυτικός πίνακας με όλα τα βασικά θρεπτικά συστατικά και διατροφικά χαρακτηριστικά τόσο για το φρέσκο καρότο όσο και για το αποξηραμένο.

Πίνακας 2.1 Διατροφικά χαρακτηριστικά φρέσκου και αποξηραμένου καρότου.

	ΚΑΡΟΤΟ 100 g ΦΡΕΣΚΟ		ΚΑΡΟΤΟ 100 g ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΟ	
		%ΣΗΠ		%ΣΗΠ
Ενέργεια	41 kcal	2%	341 kcal	17%
Πρωτεΐνες	0		8 g	
Λιπαρά	0	0%	1 g	2%
Υδατάνθρακες	10 g	3%	80 g	27%
εκ των οποίων σάκχαρα	5 g		39 g	
Εδώδιμες Ίνες	3 g	11%	24 g	94%
ΒΙΤΑΜΙΜΕΣ				
Βιταμίνη Α	16705 IU	334%	68460 IU	1369%
Βιταμίνη C	5.9 mg	10%	14.6 mg	24%
Βιταμίνη D	~	~	~	~
Βιταμίνη E	0,7 mg	3%	5.5 mg	27%
Βιταμίνη K	13.2 mcg	16%	108 mcg	135%
Θειαμίνη (B1)	0.1 mg	4%	0.5 mg	36%
Ριβοφλαβίνη (B2)	0.1 mg	3%	0.4 mg	25%
Νιασίνη	1 mg	5%	6.6 mg	33%
Βιταμίνη B6	0.1 mg	7%	1 mg	52%
Φυλλικό Οξύ	19,0 mcg	5%	55 mcg	14%
Βιταμίνη B12	0 mcg	0%	0 mcg	0%
Παντοθενικό οξύ (B5)	0.3 mg	3%	1.5 mg	15%
Χλώριο	8.8 mg		72.1 mg	
Βηταΐνη	0.4 mg		~	
ΜΕΤΑΛΛΑ				
Ασβέστιο	33 mg	3%	212 mg	21%
Σίδηρος	0.3 mg	2%	3.9 mg	22%
Μαγνήσιο	12 mg	3%	118 mg	29%
Φώσφορος	35 mg	4%	346 mg	35%
Κάλιο	320 mg	9%	2540mg	73%
Νάτριο	69 mg	3%	275 mg	11%
Ψευδάργυρος	0.2 mg	2%	1.6 mg	10%
Χαλκός	0 mg	2%	0.4 mg	18%
Μαγγάνιο	0.1 mg	7%	1.1 mg	56%
Σελήνιο	0.1 mcg	0%	8.6 mcg	12%

Πηγή: <http://nutritiondata.self.com>

IU: International Units

%ΣΗΠ: Συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη θερμίδων και διαθρεπτικών στοιχείων ενός μέσου ενήλικα υπολογισμένη για μια δίαιτα 2000 θερμίδων.

Τα κύρια άλευρα που χρησιμοποιούνται στη διεργασία της εκβολής είναι καλαμποκάλευρο, σιτάλευρο, ρυζάλευρο, κλπ. Ανάμεσα σε αυτά το ρυζάλευρο χρησιμοποιείται ευρέως εξαιτίας των σημαντικών διατροφικών του χαρακτηριστικών και της πλούσιας γεύσης τους.

2.2 Ρυζάλευρο

Το ρυζάλευρο (Εικόνα 2.2) είναι ένα εξαιρετικά υγιεινό τρόφιμο. Περιέχει σύνθετους υδατάνθρακες, που σημαίνει ότι αποτελείται από άμυλο και φυτικές ίνες. Οι σύνθετοι υδατάνθρακες αφομοιώνονται αργά, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον οργανισμό για χρησιμοποιεί για μεγαλύτερο διάστημα την ενέργεια που δίνουν. Οι φυτικές ίνες βοηθούν στην ανάπτυξη της εντερικής χλωρίδας, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην άμυνα του οργανισμού μας.



Εικόνα 2.2 Ρυζάλευρο

Όπως όλα τα αμυλώδη τρόφιμα, το ρυζάλευρο δεν έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Όμως, οι πρωτεΐνες που έχει είναι εύπεπτες και αφομοιώνονται εύκολα από τον οργανισμό. Αυτός είναι ένας λόγος που το ρυζάλευρο είναι κατάλληλη τροφή για μωρά, ηλικιωμένους και ασθενείς που δυσκολεύονται να φάνε. Επίσης, περιέχει και τα 8 αμινοξέα που χρειάζεται το ανθρώπινο σώμα για να αναπαράγει συνεχώς καινούργιους και δυνατούς μύες.

Επίσης, το ρυζάλευρο δεν περιέχει χοληστερόλη ή γλουτένη και δεν προκαλεί αλλεργικές αντιδράσεις. Τέλος, η χαμηλή περιεκτικότητά του σε άλατα και λίπος το καθιστά κατάλληλο για δίαιτα. (www.agrino.gr)

Στην επόμενη σελίδα παρατίθεται πίνακας με τα διατροφικά χαρακτηριστικά του ρυζάλευρου.

Πίνακας 2.2 Διατροφικά χαρακτηριστικά ρυζάλευρου.

	Ρυζάλευρο Λευκό 100 g	
		%ΣΗΠ
Ενέργεια	366 kcal	18%
Πρωτεΐνες	6	
Λιπαρά	1	0%
Υδατάνθρακες	80 g	27%
εκ των οποίων σάκχαρα	0 g	
Εδώδιμες Ίνες	2 g	10%
ΒΙΤΑΜΙΜΕΣ		
Βιταμίνη Ε	0.1mg	1%
Θειαμίνη (Β1)	0.1 mg	9%
Νιασίνη	2.6 mg	13%
Βιταμίνη Β6	0.4 mg	22%
Φυλλικό Οξύ	4,0 mcg	1%
Παντοθενικό οξύ (Β5)	0.8 mg	8%
Χλώριο	5.8 mg	
ΜΕΤΑΛΛΑ		
Ασβέστιο	10 mg	1%
Σίδηρος	0.4 mg	2%
Μαγνήσιο	35 mg	9%
Φόσφορος	98 mg	10%
Κάλιο	76 mg	2%
Νάτριο	0 mg	0%
Ψευδάργυρος	0.8 mg	5%
Χαλκός	0.1 mg	6%
Μαγγάνιο	1.2 mg	60%
Σελήνιο	15.1 mcg	22%

Πηγή: <http://nutritiondata.self.com>

%ΣΗΠ: Συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη θερμίδων και διαθρεπτικών στοιχείων ενός μέσου ενήλικα υπολογισμένη για μια διαίτα 2000 θερμίδων.

Η χρήση λαχανικών στην παραγωγή διογκωμένων τροφίμων εκβολής αυξημένης διατροφικής αξίας (σνακ δευτέρας γενεάς) είναι ένα σχετικά νέο ερευνητικό πεδίο. Στο παρελθόν οι έρευνες αφορούσαν και περιορίζονταν στη μελέτη της σόγιας ή πρωτεϊνικών της συμπυκνωμάτων και την ανάπτυξη νέων προϊόντων με τη χρήση της (σε συνδυασμό με δημητριακά), είτε έτοιμα για κατανάλωση, είτε προζελατινοποιημένα άλευρα ή ημι-προϊόντα που να μιμούνται την υφή του κρέατος (Frazier, Crawshaw, Daniels & Russell Eggitt, 1983; Hager, 1984; Iwe, 1998; Lee & Brennan, 2005; Lin, Huff&Hsieh, 2002; Obatolu, Omueti & Adebowale, 2006; Pirez, Drago, Carrara, DeGreef, Torres & Gonzalez, 2008).

2.2.1 Άμυλο

Οι υδατάνθρακες αποτελούν το πλέον άφθονο και ευρέως κατανεμημένο και σύνηθες συστατικό των τροφίμων. Καταλαμβάνουν περισσότερο από το 90% του ξηρού βάρους των φυτικών τροφίμων και δεν θεωρούνται τοξικοί. Συνεπώς, οι υδατάνθρακες χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες, τόσο για ανθρώπινη κατανάλωση όσο και ως συστατικό (πρώτη ύλη) κατά την επεξεργασία των τροφίμων (BeMiller et al., 1996). Το άμυλο είναι ένας φυτικός πολυσακχαρίτης, ανάλογος με το γλυκογόνο των ζωικών οργανισμών και αποτελεί αποταμιευτική εφεδρική ύλη των φυτών. Βρίσκεται στα διάφορα φυτά με τη μορφή κόκκων οι οποίοι διαφέρουν σε μέγεθος και σχήμα ανάλογα με την προέλευσή τους. Για το λόγο αυτό, με μικροσκοπική παρατήρηση του μεγέθους και του σχήματος των κόκκων του αμύλου είναι δυνατή η εύκολη αναγνώριση της προέλευσής του. (Θωμόπουλος, 1981)

Το άμυλο αποτελείται από δύο συστατικά μέρη, την αμυλόζη (MB 105-106) και την αμυλοπηκτίνη (MB 107-109) (Ellis et al., 1998; McWilliams, 1993). Τα διάφορα είδη αμύλου είναι μίγματα με κυμαινόμενη αναλογία αμυλόζης (συνήθως 20 - 30%) και αμυλοπηκτίνης (συνήθως 70 - 80%) η οποία εξαρτάται από την προέλευσή του. Οι κόκκοι του αμύλου είναι αδιάλυτοι στο ψυχρό νερό, έχουν όμως την ιδιότητα να απορροφούν το νερό και να διογκώνονται. Με θερμό νερό οι κόκκοι σχηματίζουν ένα πηκτό διάλυμα (ζελατινοποίηση). Η συνολική συμπεριφορά του αμύλου εξαρτάται πολύ από τις σχετικές ποσότητες της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης μέσα στο πλέγμα του αμύλου. Καθένα από τα κλάσματα αυτά έχει διακριτές ιδιότητες που συνεισφέρουν στη συνολική λειτουργικότητα του αμύλου και σύμφωνα με την προέλευση αυτού (McWilliams, 1993). Η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του αμύλου από μια συγκεκριμένη φυτική πηγή επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες των τροφίμων, όταν αυτό χρησιμοποιείται ως συστατικό.

Από τους δύο τύπους μορίων η αμυλόζη είναι γραμμικό πολυμερές τμημάτων D-γλυκόζης τα οποία ενώνονται με α-D- (1 → 4) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η αμυλόζη αποτελείται συνήθως από 200 μέχρι 2000 μόρια γλυκόζης και έχει μοριακό βάρος από 20.000 για το καλαμπόκι μέχρι 300.000 για την πατάτα. Βρίσκεται στο εσωτερικό των κόκκων του αμύλου, διαλύεται στο νερό χωρίς διόγκωση και δίνει μπλε χρώμα με ιώδιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αμυλόζη έχοντας την ιδιότητα να σχηματίζει ελικοειδή δομή γύρω από το ιώδιο απορροφάει το φως οδηγώντας στη δημιουργία έντονου μπλε χρώματος (Μπόσκος, 1997).

Η αμυλοπηκτίνη είναι διακλαδισμένο πολυμερές τμημάτων D-γλυκόζης τα οποία συνδέονται με α-D- (1 → 4) γλυκοζιτικούς δεσμούς τόσο στα ευθύγραμμα όσο και στα διακλαδισμένα τμήματα, τα οποία όμως ενώνονται με τον κύριο κορμό με α-D- (1 → 6) γλυκοζιτικούς δεσμούς. Κάθε διακλάδωση έχει περίπου 15-25 μόρια γλυκόζης και συμβαίνει κάθε 20-30 μόρια γλυκόζης. Το μοριακό βάρος της αμυλοπηκτίνης είναι συνήθως μεγαλύτερο από 200.000. Η αμυλοπηκτίνη που βρίσκεται στο εξωτερικό περίβλημα του κόκκου του αμύλου, διογκώνεται στο νερό και με θέρμανση δίνει την αμυλόκολλα. Αντίθετα με την αμυλόζη, η αμυλοπηκτίνη

δε σχηματίζει εύκολα πηκτές (δε ζελατινοποιείται) και δεν υδρολύεται ποσοτικά προς β-μαλτόζη από τη β-αμυλάση

Το άμυλο όταν υδρολυθεί μερικώς, είτε ενζυμικώς, ή με οξέα, δίνει τις δεξτρίνες. Οι τελευταίες διακρίνονται σε αμυλοδεξτρίνες ή διαλυτό άμυλο (δίνουν μπλε χρώμα με το ιώδιο), ερυθροδεξτρίνες (ερυθρό χρώμα με ιώδιο) και αχροοδεξτρίνες. Οι δεξτρίνες διαλύονται στο νερό, καθιζάνουν με προσθήκη αλκοόλης και έχουν ελεύθερες καρβονυλικές ομάδες (Μπόσκος, 1997, Θωμόπουλος, 1986). Κατά την υδρόλυση του αμύλου λαμβάνεται ως τελικό προϊόν γλυκόζη.

Τα διάφορα είδη αμύλου έχουν μεγάλη σημασία στην τεχνολογία τροφίμων, εξαιτίας των φυσικοχημικών και λειτουργικών τους ιδιοτήτων. Η επίδραση του αμύλου στη ρεολογία, τη συνεκτικότητα και τη δομή πολλών τροφίμων, οφείλεται κατά κύριο λόγο στις υδροκολλοειδείς του ιδιότητες.

2.2.2 Διάχυση του νερού σε τρόφιμα που περιέχουν άμυλο

Η διάχυση του νερού αποτελεί μια πολύ σημαντική φυσική ιδιότητα που περιγράφει την μεταφορά του νερού. Σε μία τυπική διεργασία εκβολής, το νερό αναμιγνύεται με διάφορα τρόφιμα υπό μορφή σκόνης που περιέχουν άμυλο. Το μίγμα υφίσταται θέρμανση υπό πίεση, ζελατινοποίηση και τελικά εκτονώνεται για να δώσει το τελικό προϊόν των επιθυμητών φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Κατά τη διεργασία εκβολής, η διείσδυση του νερού στο άμυλο επιδρά στη δράση της ζελατινοποίησης, προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας και επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες.

Η επίδραση του νερού στα συστήματα εκβολής μελετάται διεξοδικά τα τελευταία 15 χρόνια όσον αφορά στο τελικό προϊόν και στις ρεολογικές συνθήκες κατά την επεξεργασία του τροφίμου. Επικρατεί η άποψη ότι το νερό απορροφάται από το άμυλο. Αυτό είναι μια πολύ καλή προσέγγιση για τη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων και των απαιτήσεων σε θερμική και μηχανική ενέργεια. Για την παραγωγή ενός βελτιωμένου προϊόντος, οι βασικές ιδιότητες ροής, όπως είναι η διάχυση του νερού, θα πρέπει να είναι γνωστές κατά τη διάρκεια της εκβολής. Επίσης πρέπει να καθορίζονται διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν τη ροή του υλικού και τις ιδιότητες του όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η διάτμηση.

Η περιεκτικότητα της υγρασίας στην πρώτη ύλη είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος που χρήζει ιδιαίτερης μελέτης. Κι αυτό γιατί, η υγρασία σε ικανοποιητικό ποσοστό μπορεί να προκαλέσει υαλώδη μετάπτωση του αμύλου σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Όταν τα μόρια του νερού περιορίζονται τότε το σημείο υαλώδους μετάπτωσης κυμαίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (Van Der Berg 1981, Levine-Slade 1987). Σε θερμοκρασίες υψηλότερες του σημείου υαλώδους μετάπτωσης λαμβάνει χώρα ζελατινοποίηση του υλικού. Η ζελατινοποίηση του αμύλου προκαλεί μείωση της διάχυσης του νερού στο υλικό (Saravakos et. al. 1989). Όταν η υγρασία είναι περιορισμένη συμβαίνει ζελατινοποίηση σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Εκτός απ' αυτό, λαμβάνει χώρα παραγωγή δεξτρινών. Αυτό έχει σαν

αποτέλεσμα τη μείωση του μοριακού βάρους του αμύλου. Η ενσωμάτωση δεξτρινών χαμηλού μοριακού βάρους στο άμυλο προκαλεί μείωση της διάχυσης του νερού. Η θεωρητική πρόρρηση των φαινομένων μεταφοράς σε ρευστά τρόφιμα είναι εξαιρετικά δύσκολη για το λόγο ότι οι φυσικές και χημικές δομές, καθώς και η αναλογία του νερού ποικίλουν σε κάθε τρόφιμο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο καθορισμός των φαινομένων διάχυσης του νερού μέσω πειραματικών διαδικασιών.

Στο εσωτερικό του συστήματος εκβολής αναπτύσσονται πιέσεις. Η μέγιστη πίεση αναπτύσσεται στην μήτρα πριν την έξοδο του ρευστού. Υπό την πίεση αυτή το νερό παραμένει στην υγρή φάση παρ' ότι η θερμοκρασία του είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας ζέσης του. Μόλις το προϊόν εξέλθει μέσω των οπών της μήτρας στο περιβάλλον τότε έρχεται σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης (που είναι μικρότερη από την πίεση στην μήτρα) οπότε το περιεχόμενο νερό εκτονώνεται και δημιουργείται η πορώδης υφή του προϊόντος. Το πορώδες ορίζεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

Όπου ρ_b είναι η φαινόμενη πυκνότητα. Αφορά πορώδη υλικά σε μορφή σκόνης και ορίζεται από το λόγο της μάζας προς τον ολικό όγκο του υλικού, συμπεριλαμβανομένων των πόρων του. Η ρ_p είναι η πραγματική πυκνότητα και συμβολίζει την πυκνότητα του καθαρού στερεού χωρίς τους πόρους. Ορίζεται από το λόγο της μάζας προς τον πραγματικό όγκο του στερεού. Το ολικό πορώδες (ε) χαρακτηρίζει την πορώδη υφή των προϊόντων εκβολής και ορίζεται από τον λόγο του όγκου του αέρα προς τον ολικό όγκο του υλικού:

$$\varepsilon = \frac{V_{air}}{V_{total}}$$

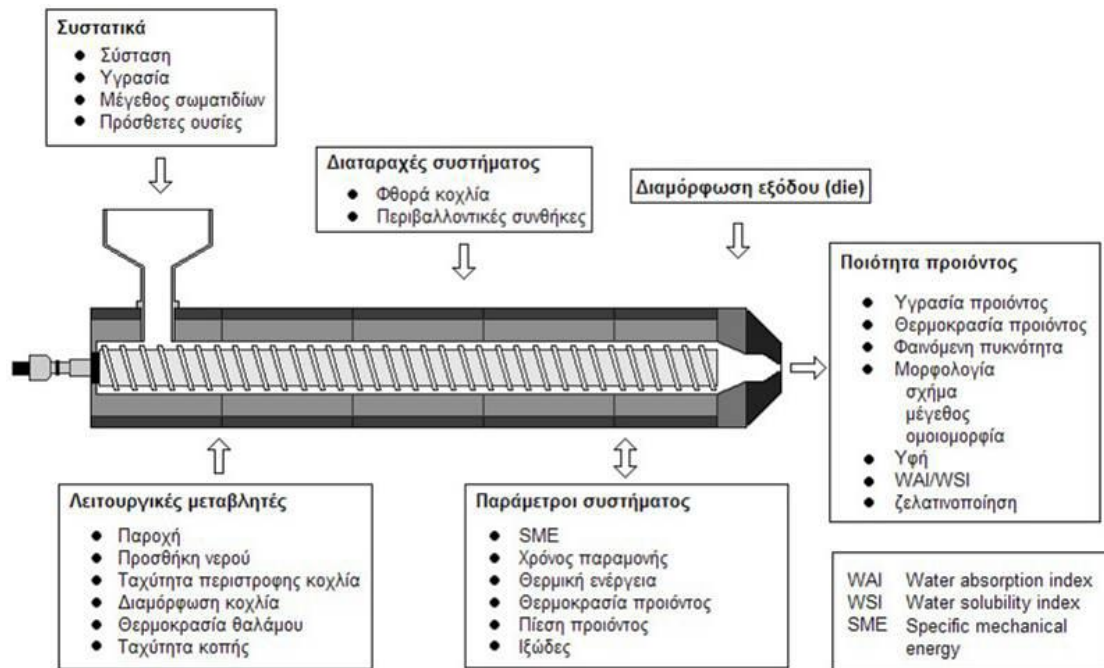
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1 Αντικείμενο και στόχοι

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη των ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής, τα οποία παράγονται με συνδυασμό ρυζάλευρου και αποξηραμένου καρότου. Η ξήρανση του καρότου έγινε μέσω ξήρανσης με κατάψυξη, ώστε να διατηρηθούν αναλλοίωτα όσο το δυνατόν περισσότερα από τα πολύτιμα θρεπτικά συστατικά του καρότου. Τα προϊόντα που θα μελετηθούν προκύπτουν από συνδυασμό ρυζάλευρου με διαφορετικά ποσοστά καρότου και αρχικής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και πιθανή αξιοποίηση των παραγομένων στη χώρα γεωργικών προϊόντων. Γενικός στόχος είναι η παραγωγή νέας γνώσης, η οποία θα βελτιώσει τη διεργασία της εκβολής και θα οδηγήσει στην παραγωγή νέων προϊόντων με επιθυμητές δομικές, λειτουργικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Οι ιδιότητες των προϊόντων εκβολής (δομικές, λειτουργικές, θερμικές, οπτικές οργανοληπτικές κλπ.), εκτός από τον τύπο του εκβολέα που χρησιμοποιείται, εξαρτώνται και καθορίζονται από τις παραμέτρους της διεργασίας και τη σύσταση του υλικού που υφίσταται επεξεργασία (Σχήμα 3.1). Οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τις ιδιότητες των προϊόντων εκβολής είναι η θερμοκρασία εκβολής, η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, η υγρασία και η σύσταση της τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό μελετήθηκε η εκβολή μιγμάτων ρυζάλευρου και αποξηραμένου καρότου, κάτω από διάφορες συνθήκες εκβολής (θερμοκρασία, ταχύτητας περιστροφής κοχλιών, υγρασία - σύσταση τροφοδοσίας). Χρησιμοποιήθηκε εκβολέας διπλού κοχλία, συμπεριστροφής, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του οποίου αναλύονται στην παρακάτω παράγραφο 3.3

Η προσθήκη του καρότου σε διάφορες αναλογίες συμβάλλει τόσο στη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων, όσο και στη βελτίωση του θρεπτικού περιεχομένου. Αυτό θα επιτρέψει τη μελέτη της επίδρασης των συνθηκών εκβολής, καθώς και των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης πάνω στις ιδιότητες των τροφίμων εκβολής με αυξημένη διατροφική αξία.



Σχήμα 3.1 Παράγοντες που καθορίζουν τις ιδιότητες των τροφίμων εκβολής.

3.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Για την παραγωγή των τροφίμων εκβολής χρησιμοποιήθηκε ρυζάλευρο, το οποίο ήταν προσφορά της Agrino-EY.ΓΕ. Πιστιόλας Α.Ε., καρότο και νερό. Από τα υλικά αυτά, το μεν ρυζάλευρο χρησιμοποιήθηκε ως έχει, ενώ για το καρότο προηγήθηκε ξήρανση με κατάψυξη (freeze-drying). Η διαδικασία της ξήρανσης με κατάψυξη διεξήχθη ως εξής: Αρχικά, το καρότο ψιλοκόβεται σε φέτες και τοποθετείται σε κατάψυξη στους -30°C για 48 ώρες. Στη συνέχεια οι κατεψυγμένες φέτες τοποθετούνται στην μονάδα ξήρανση με κατάψυξη (Εικόνα3.1) προς ξήρανση για 24 ώρες. Μετά το πέρας της ξήρανσης οι αποξηραμένες φέτες καρότου (Εικόνα3.2) αφού γίνουν σκόνη μέσω μπλέντερ συσκευάζονται αεροστεγώς ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση και η αλλαγή της περιεχόμενης υγρασίας και τοποθετούνται και πάλι στην κατάψυξη. Η περιεκτικότητα σε υγρασία της σκόνης αποξηραμένου καρότου



Εικόνα 3.1 Μονάδα Ξήρανσης με κατάψυξη.



Εικόνα 3.2 Αποξηραμένες φέτες καρότου.

προσδιορίστηκε σε φούρνο υπό κενό σε συνθήκες πίεσης 50 mm Hg και θερμοκρασίας 75°C μέχρι σταθερού βάρους.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία των δειγμάτων εκβολής περιλάμβανε την ανάμιξη των συστατικών (ρυζάλευρο, αποξηραμένη σκόνη καρότου, νερό) σύμφωνα με προκαθορισμένη αναλογία εκφρασμένη σε υγρή βάση. Έτσι προετοιμάστηκαν τα εξής εννιά μείγματα:

ΜΕΙΓΜΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΡΟΤΟ	ΥΓΡΑΣΙΑ
1	5%	14%
2	5%	17%
3	5%	20%
4	7,5%	14%
5	7,5%	17%
6	7,5%	20%
7	10%	14%
8	10%	17%
9	10%	20%

Πίνακας 3.1 Αναλογία καρότου και νερού στα μείγματα τροφοδοσίας.

Η υγρασία των μειγμάτων ρυθμίστηκε στα επιθυμητά επίπεδα ψεκάζοντας υπολογισμένο ποσό νερού και αναμιγνύοντας καλά. Στη συνέχεια, τα μείγματα τοποθετήθηκαν στο ψυγείο στους 4°C, για 24 ώρες τουλάχιστον, έτσι ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό τους. Επιπλέον, κάθε μείγμα ήταν αεροστεγώς κλεισμένο σε διπλές σακούλες πολυαιθυλενίου ώστε να μην υπάρχει απώλεια της περιεχόμενης υγρασίας του. Η υγρασία των δειγμάτων, προσδιορίστηκε και εδώ με ξήρανση υπό κενό (50 mm Hg) στους 75°C, μέχρι σταθερού βάρους. Στις περιπτώσεις όπου η υγρασία των δειγμάτων είχε απόκλιση από την επιθυμητή έγινε η αντίστοιχη διόρθωση. Τέλος, τα δείγματα πριν την εκβολή φέρονταν σε θερμοκρασία δωματίου.

Σε γενικές γραμμές η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την προετοιμασία των πρώτων υλών, την εκβολή τους και τέλος, τη μέτρηση των ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής.

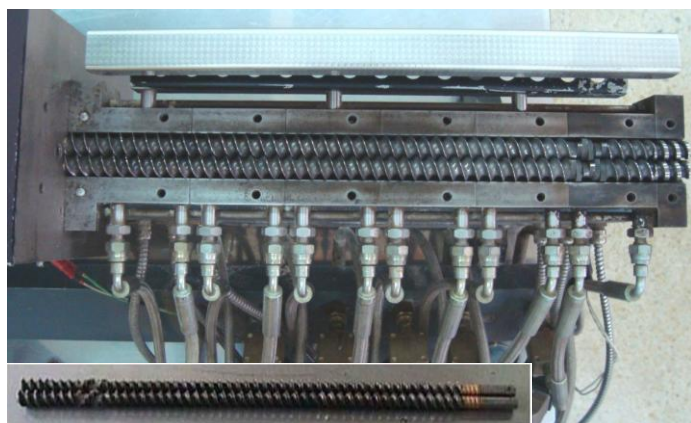
3.3 Πειραματική διάταξη - Εκβολέας

Για την εκτέλεση των δοκιμών εκβολής χρησιμοποιήθηκε ο εκβολέας KX16HC του κατασκευαστικού οίκου PRISMEUROLAB που είναι εγκατεστημένος στο Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών και που παρουσιάζεται στη διπλανή Εικόνα 3.3. Πρόκειται για ένα σύγχρονο εργαστηριακό εκβολέα διπλού κοχλία 16 mm ο οποίος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή προϊόντων υψηλής αξίας, όπως φαρμακευτικά σκευάσματα, που παράγονται όμως σε σχετικά μικρές ποσότητες.



Εικόνα 3.3 Δεξιά πλάγια όψη εκβολέα. Διακρίνεται το χιτώνιο, το κιβώτιο ταχυτήτων και η οθόνη.

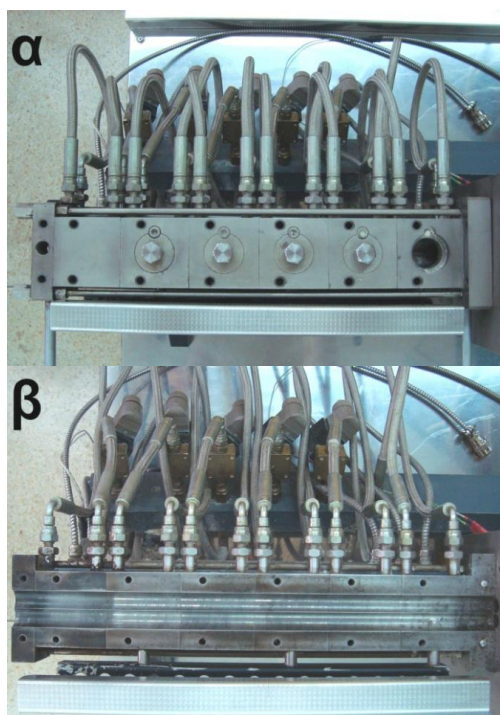
Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζονται οι κοχλίες του εκβολέα οι οποίοι συμπεριστρέφονται ο ένας μέσα στον άλλον με την ίδια φορά στο εσωτερικό του θαλάμου του εκβολέα. Οι κοχλίες μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν από το θάλαμο του εκβολέα και αποτελούνται από πολλά κομμάτια, συναρμολογημένα μεταξύ τους, με εξωτερική διάμετρο 16 mm, εσωτερική 11 mm και το συνολικό μήκος τους ανέρχεται στα 40cm. Αποτελούνται βασικά από δύο χαρακτηριστικές περιοχές. Το μεγαλύτερο τμήμα του κοχλία αποτελείται από στοιχεία ελικοειδούς μορφής των οποίων η βασική λειτουργία τους είναι η ώθηση του υλικού προς την περιοχή υψηλότερης



Εικόνα 3.4 Κάτοψη χιτωνίου εκβολέα διπλού κοχλία. Διακρίνονται οι κοχλίες.

θερμοκρασίας και πίεσης. Ενδιάμεσα παρεμβάλλονται τα στοιχεία άλεσης (ζύμωσης) τα οποία συμπιέζουν το υλικό μεταξύ των κοχλίων και του χιτωνίου, αυξάνουν την τριβή και τη μηχανική καταπόνησή του, και συμβάλουν ουσιαστικά στην ομογενοποίησή του (βελτίωση της ανάμιξης), αλλά και στην επίτευξη φυσικοχημικών

μεταβολών. Ο ελεύθερος χώρος μεταξύ των κοχλίων και του χιτωνίου του εκβολέα είναι $V=8,52 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$. Στους συγκεκριμένους κοχλίες υπάρχει δυνατότητα αύξησης ή ελάττωσης του μήκους του κοχλία που καταλαμβάνεται από στοιχεία άλεσης. Σημειώνεται ότι αυτά τα στοιχεία είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνα για την ανάπτυξη υψηλών ροπών κατά τη λειτουργία του εκβολέα, λόγω της τοπικής αύξησης της πίεσης.



Εικόνα 3.5 Κάτοψη χιτωνίου εκβολής διπλού κοχλία. α. Κλειστό, β. Ανοικτό. Διακρίνονται τα θερμαντικά στοιχεία κατά μήκος του χιτωνίου καθώς και οι έξι ζώνες θέρμανσης.

Ο θάλαμος του εκβολέα αποτελείται από δυο τμήματα από τα οποία το ανώτερο αποσπάται εύκολα για να είναι δυνατός ο καθαρισμός και η αφαίρεση των κοχλίων (Εικόνα 3.5). Είναι χωρισμένος σε έξι ζώνες, η καθεμία από τις οποίες έχει δυνατότητα θέρμανσης και ξεχωριστό θερμαντικό στοιχείο. Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας στην επιθυμητή τιμή επιτυγχάνεται με τη χρήση νερού, ως ψυκτικό μέσο. Η παροχή του νερού ψύξης είναι 5 L/min.

Ο διαχωρισμός αυτός του θαλάμου σε ζώνες ανεξάρτητης θέρμανσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας της επιθυμητής κατανομής (προφίλ) θερμοκρασίας σε όλο το μήκος της

ζώνης επεξεργασίας του υλικού, και της παροχής θερμότητας με επιλεγόμενο κάθε φορά τρόπο. Η θερμοκρασία αποτελεί μία από τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας του εκβολέα και, κατ' επέκταση, μία από τις παραμέτρους επίδρασης στις φυσικές, θερμικές και ρεολογικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων. Η θερμοκρασία κάθε ζώνης μπορεί να λάβει τιμή από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι την τιμή των 300°C.

Η κατανομή της θερμοκρασίας κατά μήκος των κοχλιών μπορεί να λάβει διάφορες μορφές. Στις δοκιμές εκβολής που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, η θερμοκρασία της τελευταίας ζώνης ήταν η υψηλότερη και αποτέλεσε την τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού, ενώ οι θερμοκρασίες των υπόλοιπων ζωνών μειώνονταν γραμμικά μέχρι η θερμοκρασία στην πρώτη ζώνη, όπου γίνεται η τροφοδοσία του υλικού, να είναι της τάξης των 25°C. Μπορεί εν τούτοις να εφαρμοστεί και ομοιόμορφη θερμοκρασία κατά μήκος των κοχλιών, οπότε θα γίνεται παροχή μεγαλύτερου ποσού θερμότητας, για την ίδια όμως με την προηγούμενη περίπτωση τελική θερμοκρασία. Στις βιομηχανικές εφαρμογές η υψηλότερη θερμοκρασία συνήθως βρίσκεται προς την έξοδο του προϊόντος, δεδομένου ότι σε αυτή την περιοχή βρίσκεται η ζώνη τήξης του μίγματος. Επιπλέον, ακόμη και αν η τήξη επέρχεται σε μικρή απόσταση από το σημείο τροφοδοσίας, πρέπει το υλικό να παραμείνει σε μορφή τήγματος ώστε να μπορέσει να διέλθει από την οπή εξόδου και να γίνει η εκτόνωση του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση. Αν η έξοδος δεν είναι ικανοποιητικά θερμή, ενδέχεται να αρχίσει η στερεοποίηση του τήγματος στο εσωτερικό του εκβολέα, με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της απαιτούμενης ροπής για την περιστροφή των κοχλιών και τελικά το σταμάτημα του κινητήρα. Ανάλογο φαινόμενο μπορεί να προκύψει και όταν η παροχή της πρώτης ύλης στον εκβολέα αυξηθεί απότομα με αποτέλεσμα το σταμάτημα του κινητήρα εξαιτίας της μη ικανοποιητικής τήξης της μεγάλης ποσότητας που εισάγεται στον εκβολέα.

Στη δεξιά πλευρά του εκβολέα, πίσω από την οθόνη, βρίσκεται ο κινητήρας και δίπλα από αυτόν (Εικόνα 3.3) το κιβώτιο ταχυτήτων, τοποθετημένο εντός δοχείου που είναι γεμάτο με λάδι, για τη μείωση των τριβών των κινητών μερών. Η περιστροφή των κοχλιών εξασφαλίζεται από τον κινητήρα και ο ρυθμός της μπορεί να ρυθμιστεί από 1-500 στροφές/λεπτό (rpm). Η ισχύς του κινητήρα ανέρχεται στους 0.75 HP. Στο άκρο του κελύφους των κοχλιών, λίγο πριν την οπή εξόδου του εκβολέα, υπάρχει το στοιχείο μέτρησης της πίεσης. Η θέση αυτή αντιστοιχεί στην περιοχή επίτευξης της μέγιστης πίεσης καθώς το ρευστό ωθείται να περάσει από τα στοιχεία άλεσης του κοχλία. Η ευκολία περιστροφής σε κάθε χρονική στιγμή εκφράζεται μέσω της ροπής. Σημειώνεται ότι όλες οι παράμετροι λειτουργίας εμφανίζονται και μπορούν να ρυθμιστούν μέσω οθόνης αφής (touch-screen) που υπάρχει στον εκβολέα. Στην οθόνη υπάρχουν επίσης ενδείξεις συναγερμού και δυσλειτουργίας καθώς και στατιστικά στοιχεία, όπως οι ώρες λειτουργίας του εκβολέα. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς των τιμών των παραμέτρων σε H/Y με σύνδεσή του με τον εκβολέα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας τους σε μεταγενέστερο χρόνο.

Στο άκρο του εκβολέα προσαρμόζονται τρία εξαρτήματα που διαμορφώνουν τη μήτρα του, η οποία έχει άνοιγμα διαμέτρου 3 mm και μήκους 17,5 mm. Στο σημείο αυτό του εκβολέα παρουσιάζονται συχνότερα τα προβλήματα που διακόπτουν την παραγωγική διαδικασία, όπως κάψιμο του υλικού και φραγή του ανοίγματος της μήτρας ή διαρροή του υλικού από τα πλάγια της μήτρας, λόγω χαλαρής σύνδεσης της με το κύριο σώμα του θαλάμου του εκβολέα. Τα αποσπώμενα αυτά εξαρτήματα, συνδυάζονται μεταξύ τους με τη βοήθεια τεσσάρων κοχλιών και έτσι διευκολύνεται ο καθαρισμός τους (Εικόνα 3.6). Τέλος, το εξάρτημα με το τετραγωνικό σχήμα, διαθέτει υποδοχή για την προσαρμογή του θερμοστοιχείου που μετράει τη θερμοκρασία της τελευταίας βαθμίδας όπως επίσης και μια υποδοχή για την εισαγωγή της απαραίτητης θερμικής αντίστασης (www.thermoscientific.com)



Εικόνα 3.6 Τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται η μήτρα του εκβολέα.

3.5 Πειραματικός Σχεδιασμός

Για την μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα των προϊόντων εκβολής χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω σχεδιασμός 3(αναλογία αποξηραμένης σκόνης καρότου προς ρυζάλευρο) x 3(υγρασία τροφοδοσίας) x 3(θερμοκρασία εκβολής) x 3(ταχύτητα περιστροφής κοχλιών του εκβολέα) με δύο επαναλήψεις. Οι ανεξάρτητες τιμές ήταν η αναλογία του καρότου στο μίγμα τροφοδοσίας (5%, 7.5% και 10%), η υγρασία του υλικού τροφοδοσίας (14%, 17% και 20% σε υγρή βάση), η θερμοκρασία εκβολής (140°C, 160°C και 180°C) και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα (150rpm, 200rpm και 250rpm).

Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται ο πειραματικός σχεδιασμός κεντρικού σημείου που εκτελέστηκε, χωρίς τις επαναλήψεις.

Αναλογία καρότο/ρυζάλευρο C (%)	Υγρασία Τροφοδοσίας X (%wb)	Θερμοκρασία Εκβολής T (°C)	Ταχύτητα Περιστροφής Κοχλιών R (rpm)
5	20	140	250
5	20	140	150
5	14	140	250
5	14	140	150
7,5	17	140	200
10	20	140	150
10	20	140	250
10	14	140	150
10	14	140	250
5	17	160	200
7,5	20	160	200
7,5	17	160	200
7,5	17	160	200
7,5	17	160	250
7,5	17	160	150
7,5	14	160	200
10	17	160	200
5	20	180	150
5	20	180	250
5	14	180	150
5	14	180	250
7,5	17	180	200
10	20	180	250
10	20	180	150
10	14	180	250
10	14	180	150

Πίνακας 3.2 Πειραματικός Σχεδιασμός.

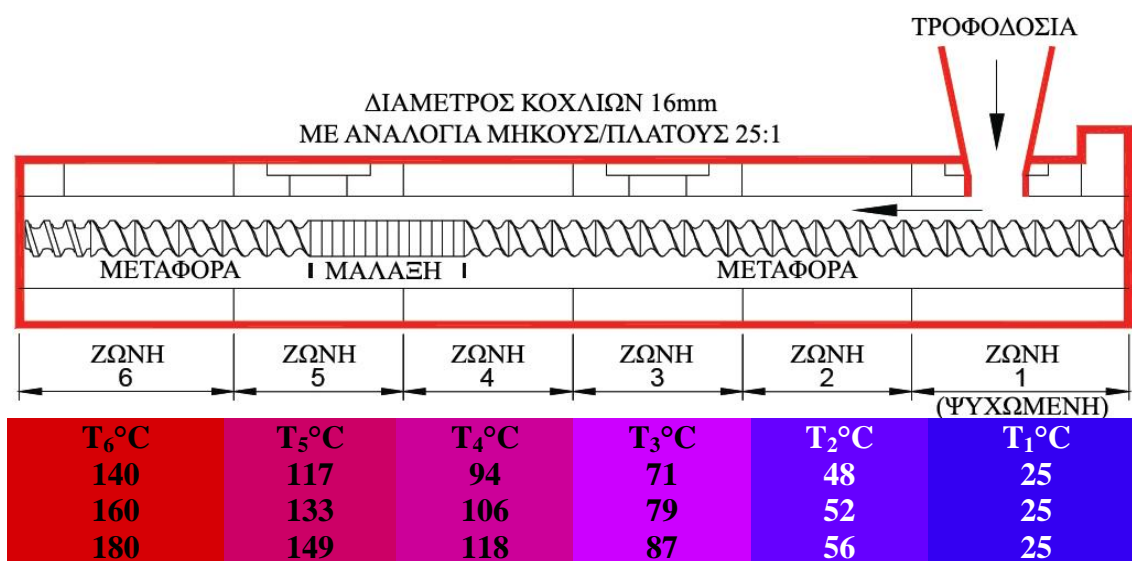
3.6 Εκβολή Δείγματος

Μετά την προετοιμασία των δειγμάτων ακολουθεί η εκβολή τους. Πριν την τροφοδοσία του υλικού στον εκβολέα, προηγήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του και η προθέρμανσή του.

Οι συνθήκες λειτουργίας του εκβολέα επιλέγονται με χρήση της οθόνης επαφής που διαθέτει. Οι βασικοί παράγοντες εκβολής που καθορίζονται πριν την εκκίνηση του εκβολέα είναι η θερμοκρασία στις έξι ζώνες του χιτωνίου, ο αριθμός των στροφών περιστροφής των κοχλιών και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η κατανομή της θερμοκρασίας κατά μήκος των κοχλιών μπορεί να λάβει διάφορες μορφές. Στις δοκιμές εκβολής που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, η θερμοκρασία της τελευταίας ζώνης ήταν η υψηλότερη και απετέλεσε την τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού, ενώ οι θερμοκρασίες των υπόλοιπων ζωνών μειώνονταν γραμμικά μέχρι η θερμοκρασία στην πρώτη ζώνη, όπου γίνεται η τροφοδοσία του υλικού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C. Τα επίπεδα θερμοκρασιών που επιλέχθηκαν για τις διάφορες ζώνες, ανάλογα με την τελική θερμοκρασία πριν την έξοδο του υλικού, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3

Πίνακας 3.3 Επίπεδα θερμοκρασιών που επιλέχθηκαν σε κάθε ζώνη.



Εκτός από την επιλογή των θερμοκρασιών στις ζώνες θέρμανσης, σε κάθε δοκιμή εκβολής έγινε και ρύθμιση των στροφών περιστροφής των κοχλιών ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση αυτής της παραμέτρου στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων εκβολής.

Εκτός από τις τιμές θερμοκρασιών και στροφών, καταγράφηκε και η ροπή των κοχλιών η οποία αποτελεί κρίσιμο μέγεθος λειτουργίας του εκβολέα με δεδομένο ότι αν αποκτήσει σχετικά μεγάλη τιμή η αντίσταση του υλικού στην περιστροφή των κοχλιών υπερβαίνει τη δυνατότητα που καθορίζεται από την ιπποδύναμη του κινητήρα και μπορεί να οδηγήσει σε απότομη διακοπή της λειτουργίας του εκβολέα.

Μετά τον ορισμό των παραγόντων εκβολής και πριν την τροφοδοσία του υλικού, τίθεται σε λειτουργία το σύστημα εκβολής, ενεργοποιείται το σύστημα ψύξεως με νερό και προθερμαίνεται για 10min. Όταν η τελευταία βαθμίδα φθάσει τους 100°C αρχίζει η τροφοδοσία σκέτου ρυζάλειου με υγρασία 25% μέχρι οι βαθμίδες να αποκτήσουν τις επιθυμητές θερμοκρασίες και να προσεγγιστούν μόνιμες συνθήκες λειτουργίας. Ακολουθεί η τροφοδοσία του μίγματος για την παραγωγή των προϊόντων εκβολής.

Για τα δεδομένα της κάθε πειραματικής δοκιμής μετρήθηκε ο ρυθμός τροφοδοσίας της πρώτης ύλης που αποτελεί σημαντική παράμετρο λειτουργίας του εκβολέα. Η μέτρηση της παροχής έγινε με την προζύγιση ορισμένης ποσότητας πρώτης ύλης, την τροφοδοτήσή της στον εκβολέα για κάποιο χρονικό διάστημα και την τελική ζύγιση της εναπομένουσας ποσότητας. Μέσω της απώλειας βάρους προσδιορίστηκε η ποσότητα που τροφοδοτήθηκε στον εκβολέα. Η μαζική παροχή υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης:

$$Q = \frac{m}{t}$$

Όπου

Q (g/s), είναι η μαζική παροχή.

m (g), είναι η ποσότητα που τροφοδοτήθηκε στον εκβολέα.

t (s), ο χρόνος τροφοδοσίας του κάθε δείγματος.

Στα δείγματα των προϊόντων εκβολής που παρήχθησαν έγιναν δοκιμές για να προσδιορισθούν:

Οι δομικές ιδιότητές τους (πορώδες, φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, συντελεστής διόγκωσης).

Οι λειτουργικές ιδιότητές τους (ικανότητα απορρόφησης νερού, ικανότητα διαλυτότητας σε νερό, ικανότητα απορρόφησης ελαίου).

Οι οπτικές ιδιότητές τους (παράγοντες L , a , b , ΔE).

Οι θερμικές ιδιότητές τους (ισόθερμες ροφήσεως νερού και θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των τελικών προϊόντων)

Τέλος, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους (εμφάνιση, γεύση-οσμή, υφή) τα αποτελέσματα των οποίων περιγράφονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια

4. ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

4.1 Αντικείμενο και στόχοι

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της εκβολής τροφίμων είναι η παραγωγή αφράτων τελικών προϊόντων λόγω της διόγκωσης του υλικού κατά την έξοδό του από τη μήτρα μορφώσεως. Η διόγκωση αυτή οφείλεται, όπως περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια, στην απότομη πτώση πίεσης κατά την έξοδο του υλικού και στην εκτόνωση του νερού που περιέχεται στο εσωτερικό του υλικού. Η δομή των προϊόντων εκβολής είναι βασική ποιοτική παράμετρος για τον καθορισμό και την αντίληψη της υφής τους. Η δομή των προϊόντων εκβολής προσεγγίζεται από μια σειρά ιδιοτήτων οι οποίες περιλαμβάνουν τη φαινόμενη πυκνότητα, την πραγματική πυκνότητα, το πορώδες και τον συντελεστή διόγκωσης των προϊόντων.

Η φαινόμενη πυκνότητα (ρ_a) των διογκωμένων προϊόντων υπολογίζεται από το λόγο της μάζας τους προς το συνολικό όγκο τους, συμπεριλαμβανομένων και των πόρων του αέρα. Η πραγματική πυκνότητα (ρ_l) αναφέρεται στην πυκνότητα του υλικού χωρίς τους πόρους και υπολογίζεται από την μάζα του υλικού προς τον πραγματικό όγκο. Το πορώδες (ε) των διογκωμένων προϊόντων χαρακτηρίζει την αφρώδη τους δομή και υπολογίζεται μέσω της φαινόμενης και της πραγματικής πυκνότητας. Ο συντελεστής διόγκωσης (E) αναφέρεται στο ποσοστό της διόγκωσης του τήγματος, που υφίσταται εκβολή, κατά την έξοδό του από την μήτρα μορφοποίησης. Συνήθως αναφέρεται στην ακτινική διόγκωση του προϊόντος και υπολογίζεται από τον λόγο των διαμέτρων του προϊόντος και της μήτρας.

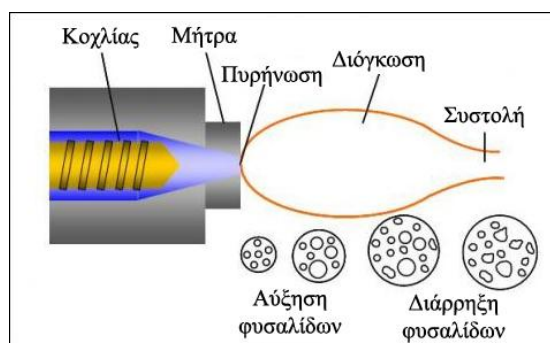
Κύριος στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στις δομικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, πορώδες, συντελεστής διόγκωσης) και η κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν τη δημιουργία της διογκωμένης-αφρώδους δομής τους. Επίσης, περιγράφονται τα πειραματικά αποτελέσματα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών δομής των προϊόντων εκβολής και το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε με βάση τα πειραματικά δεδομένα για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων δομής προϊόντων εκβολής μιγμάτων ρυζάλευρου – καρότου από τις συνθήκες εκβολής και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών.

4.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η διαστολή των προϊόντων εκβολής είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο το οποίο συμβαίνει συνήθως σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και χαμηλής υγρασίας. Είναι το τελικό αποτέλεσμα πολλών φαινομένων μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται, οι μετασχηματισμοί δομής των βιοπολυμερών και οι μεταπτώσεις φάσεων, ο σχηματισμός πυρήνων, η διόγκωση του υλικού εκβολής, η ανάπτυξη και στη συνέχεια η διάρρηξη των φυσαλίδων. Από τα φαινόμενα αυτά κυρίαρχο ρόλο στη διαστολή των προϊόντων εκβολής παίζει η δυναμική συμπεριφορά των φυσαλίδων (Chang, 1992, Moraru και Kokini, 2003).

Υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικές με την συμπεριφορά ως προς τη διαστολή υλικών κατά τις διεργασίες εκβολής, όμως οι περισσότερες εστιάζονται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα τροφίμων και δε παρέχουν ολοκληρωμένη κάλυψη του φαινομένου.

Κατά την εκβολή η πίεση μέσα στο θάλαμο και ειδικότερα στο χώρο των τελευταίων ζωνών αυξάνεται λόγω του περιορισμού του υλικού στο χώρο πριν τη μήτρα. Η τελική τιμή της πίεσης κυμαίνεται από 30 έως 110 bar (Colonna και άλλοι, 1989). Καθώς το ιξωδοελαστικό τήγμα εξέρχεται από τη μήτρα μεταβαίνει από την κατάσταση υψηλής πίεσης στην ατμόσφαιρα. Με την έξοδο του υλικού από τη μήτρα, λόγω της χαμηλότερης εξωτερικής πίεσης εκτονώνεται η περιεχόμενη υγρασία προκαλώντας τη διαστολή του παραγόμενου προϊόντος. Οι μικρές φυσαλίδες υδρατμού αμέσως μετά την έξοδο συνενώνονται και μεγαλώνουν σχηματίζοντας τις μεγαλύτερες φυσαλίδες που παρατηρούνται στα τελικά προϊόντα. Όταν η θερμοκρασία του προϊόντος μειώνεται κάτω από την θερμοκρασία ζελατινοποίησης το προϊόν στερεοποιείται και διατηρεί πλέον το φουσκωμένο σχήμα του.



Οι Kokini JL, Chang CN, Lai LS. (1992) αναλύοντας το φαινόμενο διαστολής κατά την εκβολή δημητριακών δέχθηκαν ότι λαμβάνουν χώρα τα εξής πέντε στάδια (Σχήμα 4.1)

Σχήμα 4.1 Δημιουργία και διάρρηξη φυσαλίδων.

1. Χημικές αντιδράσεις διάσπασης και αναδιάταξης κατά τις οποίες μετατρέπεται το ακατέργαστο υλικό της τροφοδοσίας σε ομοιόμορφο ιξωδοελαστικό τήγμα.
2. Σχηματισμός πυρήνων φυσαλίδων.
3. Διόγκωση του τήγματος. Η ελαστικότητα του τήγματος επιτρέπει την διόγκωσή του αμέσως μετά την έξοδο από τη μήτρα.
4. Αύξηση των φυσαλίδων. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσα στη μήτρα ή έξω από αυτήν, κάτι που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το είδος του υλικού εκβολής.

5. Διάρρηξη ορισμένων φυσαλίδων. Αυτό συμβαίνει όταν το τοίχωμα των φυσαλίδων γίνεται πολύ λεπτό για να συγκροτήσει τον ατμό που βρίσκεται υπό πίεση. Ο βαθμός διάρρηξης φαίνεται να εξαρτάται από την υγρασία και τις ρεολογικές ιδιότητες του τήγματος.

Η εκβολή είναι μια διεργασία τροφίμων, η οποία στηρίζεται στην τεχνολογία HTST (High Temperature – Short Time), και μπορεί να παραγάγει μια ποικιλία προϊόντων με υψηλούς βαθμούς απόδοσης, τα οποία είναι έτοιμα προς κατανάλωση, καθώς επίσης και ευκολόχρηστα. Η δομή των προϊόντων αυτών καθορίζεται και επηρεάζεται από τις συνθήκες εκβολής που εφαρμόζονται και επίσης από τη συγκέντρωση των συστατικών που τροφοδοτούνται στον εκβολέα. Για την παραγωγή διογκωμένων τροφίμων εκβολής χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις οι εκβολείς διπλού κοχλίου. Η διόγκωση των προϊόντων αυτών εκφράζεται μέσω του πορώδους και του συντελεστή διόγκωσης. Στο παρελθόν έχει μελετηθεί η ανάπτυξη της αφρώδους δομής προϊόντων από άμυλο αραβοσίτου, σίτου, ρυζιού και πατάτας (Artzet al., 1990; Cheyne, Barnes, Gedney & Wilson, 2005; Hagenimana, Ding & Fang, 2006; Ryu & Ng, 2001; Thymi, Krokida, Pappa & Maroulis, 2005). Στις μελέτες αυτές χρησιμοποιείται κυρίως εκβολέας διπλού κοχλίου. Επίσης έχει μελετηθεί και προτυποποιηθεί η ανάπτυξη των πόρων και η διόγκωση των προϊόντων (Alvarez-Martinez et al., 1988; Kumagai, Kumagai & Yano, 1993). Τα περισσότερα πρότυπα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για την περιγραφή των δομικών ιδιοτήτων των διογκωμένων τροφίμων εκβολής είναι πολύπλοκες μαθηματικές εκφράσεις, με σταθερές οι οποίες δεν έχουν κάποια φυσική σημασία (προκύπτουν απλά από την προσαρμογή των πειραματικών μετρήσεων) και είναι δύσκολη η χρήση τους για μια γρήγορη εκτίμηση της τάξης μεγέθους των δομικών ιδιοτήτων.

Σκοπός αυτού του μέρους της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλίων) και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία) στις δομικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, πορώδες και συντελεστής διόγκωσης) διογκωμένων προϊόντων εκβολής ρυζάλευρου με προσθήκη αποξηραμένης, μέσω ξήρανσης με κατάψυξη, σκόνης καρότου. Επίσης, θα αναπτυχθούν απλά μαθηματικά πρότυπα, τα οποία θα περιέχουν φυσικές παραμέτρους, και θα επιτρέπουν την εύκολη και αξιόπιστη πρόβλεψη των ιδιοτήτων δομής που εξετάζονται.

4.3 Μαθηματικό πρότυπο

Η πραγματική πυκνότητα των τροφίμων ως συνάρτηση της περιεχόμενης υγρασίας δίνεται από τη σχέση (Krokida & Maroulis, 1997):

$$\rho_t = \frac{1 + X}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{X}{\rho_w}}$$

Όπου ρ_s κα ρ_w η πυκνότητα του καθαρού στερεού και του νερού, αντίστοιχα, και X η περιεχόμενη υγρασία.

Η φαινόμενη πυκνότητα των τροφίμων ως συνάρτηση της περιεχόμενης υγρασίας δίνεται από τη σχέση (Krokida & Maroulis, 1997):

$$\rho_a = \frac{(1 + X) \cdot \rho_{a0}}{1 + \beta \cdot X}$$

Όπου ρ_{a0} η φαινόμενη πυκνότητα του ξηρού στερεού (δηλαδή για $X=0$), β ο συντελεστής συρρίκνωσης και X η περιεχόμενη υγρασία.

Ο συντελεστής συρρίκνωσης (β) ορίζεται από τη σχέση:

$$\frac{u}{u_0} = 1 + \beta \times X$$

Όπου u είναι ο ειδικός όγκος που αντιστοιχεί σε υγρασία X , και u_0 είναι ο ειδικός όγκος για $X=0$.

Τα διογκωμένα προϊόντα εκβολής θεωρούνται τρόφιμα με πολύ χαμηλό ποσοστό υγρασίας. Οπότε από τις δύο παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι η πραγματική πυκνότητα είναι ίση με την πυκνότητα του στερεού και η φαινόμενη πυκνότητα εξαρτάται μόνο από τις διαστάσεις του υλικού.

Θεωρώντας τα προϊόντα εκβολής ότι έχουν κυλινδρικό σχήμα η φαινόμενή τους πυκνότητα δίνεται από τον τύπο:

$$\rho_a = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot L}$$

Όπου m η μάζα του τροφίμου (g), L το μήκος του (cm) και d η διάμετρος (cm).

Ενώ αντίστοιχα η πραγματική πυκνότητα από τον τύπο:

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

Όπου m η μάζα του τροφίμου (g), V_t ο πραγματικός όγκος του τροφίμου όπως αυτός υπολογίζεται μέσω του στερεοπυκνομέτρου ηλίου (g/cm^3).

Το πορώδες των κυψελοειδών τροφίμων ορίζεται από τη σχέση (Krokida & Maroulis, 1997):

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$$

Όπου ρ_a η φαινόμενη και ρ_t η πραγματική πυκνότητα του τροφίμου.

Βασική ιδιότητα δομής των προϊόντων εκβολής που χαρακτηρίζει τη δημιουργία διογκωμένης ανοικτής δομής είναι ο συντελεστής διόγκωσης. Ο συντελεστής διόγκωσης ορίζεται ως ο λόγος της διαμέτρου του προϊόντος προς τη διάμετρο της μήτρας του εκβολέα.

$$E = \frac{d}{d_{die}} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot L \cdot \rho_a}}}{d_{die}}$$

Όπου d και d_{die} η διάμετρος του τροφίμου εκβολής και της μήτρας, αντίστοιχα.

Οι παράμετροι της διεργασίας και η σύσταση του υλικού που υφίσταται εκβολή επηρεάζουν σημαντικά τη δημιουργία της δομής του τελικού προϊόντος. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη ενός μαθηματικού προτύπου για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων δομής των προϊόντων εκβολής.

Το μαθηματικό πρότυπο που προτάθηκε για τον υπολογισμό των τιμών των δομικών ιδιοτήτων (φαινόμενη πυκνότητα και συντελεστής διόγκωσης) των προϊόντων εκβολής σε συνάρτηση με τις παραμέτρους εκβολής και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης, είναι ένα εκθετικό πρότυπο και παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1. Η προτεινόμενη εξίσωση του προτύπου έχει την ακόλουθη μορφή:

$$M = n_{0,M} \cdot \left(\frac{100 - C}{100 - C_0}\right)^{n_{C,M}} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_{T,M}} \cdot \left(\frac{X}{X_0}\right)^{n_{X,M}} \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^{n_{R,M}}$$

Όπου:

- M η δομική ιδιότητα (π.χ. φαινόμενη πυκνότητα)
- C το ποσοστό προσθήκης αποξηραμένης σκόνης καρότου στο μίγμα ως προς το συνολικό βάρος του μίγματος (% κ.β. επί υγρής βάσης).
- T η θερμοκρασία εκβολής ($^{\circ}\text{C}$).
- X η υγρασία του μίγματος τροφοδοσίας (% κ.β. επί υγρής βάσης).

- R η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών (στροφές ανά λεπτό, rpm).
- C_0, T_0, X_0, R_0 σταθερές που αντιστοιχούν στις κεντρικές πειραματικές συνθήκες (αναφοράς) των μεταβλητών C, T, X, R αντίστοιχα. Οι συνθήκες αναφοράς είναι: Συγκέντρωση καρότου στο μίγμα τροφοδοσίας (C) 7.5%, Θερμοκρασία εκβολής (T) 160°C, Υγρασία τροφοδοσία (X) 17% και Ταχύτητα περιστροφής κοχλιών (R) 200rpm.
- $n_{0,M}, n_{C,M}, n_{T,M}, n_{X,M}, n_{R,M}$ παράμετροι του μαθηματικού προτύπου.

Το πρότυπο για κάθε δομική ιδιότητα περιέχει πέντε παραμέτρους: την ιδιότητα στις συνθήκες αναφοράς ($n_{0,M}$), τον εκθέτη της αναλογίας καρότου προς ρυζάλευρο ($n_{C,M}$), τον εκθέτη της θερμοκρασίας εκβολής ($n_{T,M}$), τον εκθέτη της υγρασίας ($n_{X,M}$) και τον εκθέτη της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών ($n_{R,M}$).

Η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας στις δομικές ιδιότητες (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) εκφράζεται μέσω των εκθετών $n_{T,M}$ και $n_{R,M}$, ενώ η επίδραση των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης (υγρασία τροφοδοσίας και αναλογία καρότου προς ρυζάλευρο) μέσω των εκθετών $n_{X,M}$ και $n_{C,M}$.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις δομικές ιδιότητες εκτιμώνται μετά από προσαρμογή της εξίσωσης του προτύπου στα πειραματικά δεδομένα.

Η προσαρμογή αυτή γίνεται με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων της διαφοράς μεταξύ των πειραματικών και των προβλεπόμενων από το μοντέλο τιμών.

Μαθηματικό πρότυπο δομικών ιδιοτήτων		
		Μονάδες
1. Ιδιότητες Δομής		
ρ_a	Φαινόμενη πυκνότητα	(g/cm ³)
ρ_t	Πραγματική πυκνότητα	(g/cm ³)
ε	Πορώδες	(-)
E	Συντελεστής διόγκωσης	(-)
2. Χαρακτηριστικά υλικών		
C	Ποσοστό προσθήκης αποξηραμένης σκόνης καρότου	(% κ.β. υγρή βάση)
X	Υγρασία τροφοδοσίας	(% κ.β. υγρή βάση)
3. Παράμετροι διεργασίας		
T	Θερμοκρασία εκβολής	(°C)
R	Ταχύτητα περιστροφής κοχλιών (rpm)	(rpm)
4. Εξισώσεις ιδιοτήτων		
$\rho_a = n_{0,\rho} \cdot \left(\frac{100 - C}{100 - C_0}\right)^{n_{C,\rho}} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_{T,\rho}} \cdot \left(\frac{X}{X_0}\right)^{n_{X,\rho}} \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^{n_{R,\rho}}$		(g/cm ³)
$E = n_{0,E} \cdot \left(\frac{100 - C}{100 - C_0}\right)^{n_{C,E}} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_{T,E}} \cdot \left(\frac{X}{X_0}\right)^{n_{X,E}} \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^{n_{R,E}}$		(-)
$\rho_a = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot L}$		(g/cm ³)
$\rho_t = \frac{m}{V_t}$		(g/cm ³)
$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$		(-)
$E = \frac{d}{d_{die}} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot L \cdot \rho_a}}}{d_{die}}$		(-)
5. Παράμετροι		
$n_{0,\rho}$	Φαινόμενη πυκνότητα στις συνθήκες αναφοράς	(g/cm ³)
$n_{0,E}$	Συντελεστής διόγκωσης στις συνθήκες αναφοράς	
C_0, T_0, X_0, R_0	Σταθερές που αντιστοιχούν στις συνθήκες αναφοράς των μεταβλητών C, T, X, R	
$n_{C,\rho}$ και $n_{C,E}$	Εκθέτες αναλογίας καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας	
$n_{T,\rho}$ και $n_{T,E}$	Εκθέτες θερμοκρασίας εκβολής	
$n_{X,\rho}$ και $n_{X,E}$	Εκθέτες υγρασίας τροφοδοσίας	
$n_{R,\rho}$ και $n_{R,E}$	Εκθέτες ταχύτητας περιστροφής κοχλιών	

Πίνακας 4.1 Μαθηματικό πρότυπο πρόβλεψης δομικών ιδιοτήτων τροφίμων εκβολής.

4.4 Πειραματική διαδικασία μέτρησης ιδιοτήτων δομής

4.4.1 Προσδιορισμός Φαινόμενης πυκνότητας

Η φαινόμενη πυκνότητα ενός τροφίμου περιλαμβάνει όλους του πόρους που υπάρχουν στο υλικό. Μπορεί να προσδιορισθεί, για ένα τρόφιμο που έχει ένα συγκεκριμένο σχήμα, μέσω της μάζας και του όγκου που προκύπτει από τις χαρακτηριστικές διαστάσεις του (Rahman, 1995).

Λόγω του κυλινδρικού σχήματος που είχε η έξοδος της μήτρας το προϊόν μπορεί να θεωρηθεί ιδανικά κυλινδρικού σχήματος. Συνεπώς, ο ολικός όγκος κάθε τεμαχίου μπορεί να υπολογιστεί αλγεβρικά μέσω της μέτρηση των διαστάσεων (μήκος και διάμετρος) του τεμαχίου από την παρακάτω σχέση:

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L$$

Όπου: d είναι η διάμετρος και

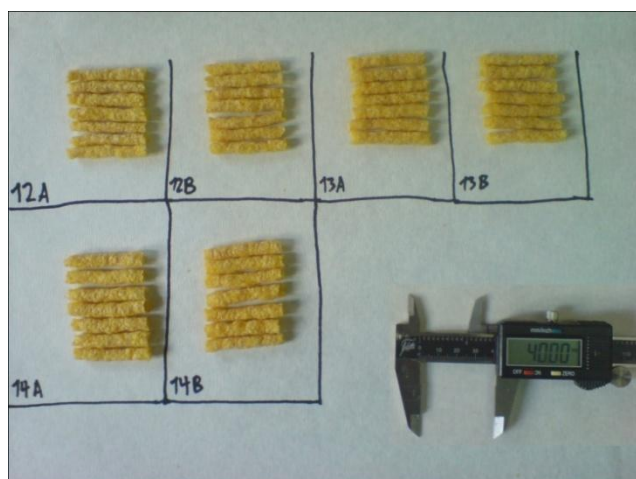
L είναι το μήκος του κάθε τεμαχίου

Η διάμετρος και το μήκος του κάθε τεμαχίου μετρήθηκε με ψηφιακό παχύμετρο ακριβείας 0.01mm και η μάζα του με ηλεκτρονικό ζυγό υψηλής ακρίβειας 10^{-4} g. Η φαινόμενη πυκνότητα υπολογίστηκε από τη παρακάτω σχέση:

$$\rho_a = \frac{m}{V} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot L}$$

Όπου m η μάζα του τροφίμου (g), L το μήκος του (cm) και d η διάμετρος (cm).

Για λόγους αντιπροσωπευτικότητας της μέτρησης του ολικού όγκου, για κάθε προϊόν εκβολής λήφθηκαν επτά δείγματα – τεμάχια των 40mm περίπου τα οποία επιλέχθηκαν να είναι σχεδόν ευθύγραμμα και όμοιας διαμέτρου μεταξύ τους (Εικόνα 4.1). Σε κάθε ένα από τα επτά τεμάχια εκτελέστηκαν τρεις μετρήσεις διαμέτρου και δύο μετρήσεις μήκους, σε διαφορετικά σημεία κάθε δείγματος, έτσι ώστε να



Εικόνα 4.1 Κομμένα τεμάχια έτοιμα για μέτρηση.

εξασφαλιστεί μια όσο το δυνατόν ακριβέστερη μέτρηση του ολικού όγκου κάθε τεμαχίου. Εκτελέστηκαν συνολικά δύο επαναλήψεις ανά παρτίδα προϊόντος. Συνεπώς, η τιμή της φαινόμενης πυκνότητας αντιστοιχεί στο μέσο όρο δεκατεσσάρων μετρήσεων για κάθε πειραματική επανάληψη.

4.4.2 Προσδιορισμός πραγματικής πυκνότητας

Η πραγματική πυκνότητα ενός υλικού υπολογίζεται από τις πυκνότητες των συστατικών που το αποτελούν, λαμβάνοντας υπόψη τη διατήρηση της μάζας και του όγκου. Στα τρόφιμα η πραγματική πυκνότητα είναι η πυκνότητα του υλικού χωρίς τους πόρους. Για το λόγο αυτό, πριν από τη μέτρηση της πυκνότητας του υλικού, το δείγμα πρέπει να είναι αλεσμένο, για να διασφαλισθεί ότι δεν θα παραμείνουν κλειστοί πόροι. Η πυκνότητα του υλικού μπορεί να προσδιορισθεί με διάφορες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένων της μεθόδου εκτόπισης υγρού, της μεθόδου του αερίου πυκνόμετρου, της ποροσιμετρίας υδραργύρου και της μεθόδου απορρόφησης αερίου (Michailidis, Krokida, Bisharat, Marinos-Kouris & Rahman, 2009).

Η συνηθέστερη μέθοδος προσδιορισμού είναι το πυκνόμετρο αερίου. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ο αέρας, το άζωτο και το ήλιο. Από τα αναφερθέντα αέρια, το ήλιο είναι αυτό που συνήθως προτείνεται, λόγω της μικρής ατομικής του διαμέτρου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η πραγματική πυκνότητα προσδιορίστηκε με χρήση στερεοπυκνόμετρου ηλίου Quantachrome (model MVP-1, Quantachrome, Florida, USA) (Εικόνα 4.2).

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής αυτής βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς πίεσης που προκύπτει όταν γνωστή ποσότητα αερίου υπό πίεση κινηθεί από έναν χώρο γνωστού όγκου V_R μέσα σε μια κυψελίδα η οποία περιέχει την προς μέτρηση στερεή σκόνη. Το ήλιο λόγω των μικρών ατομικών διαστάσεών του μπορεί να διαπεράσει τους πιο μικρούς πόρους του υλικού και να εξασφαλίσει έτσι τη μέγιστη ακρίβεια. Εκτιμάται ότι το ήλιο διαπερνά ρωγμές και πόρους του υλικού μεγέθους που προσεγγίζει το ένα Angstrom (10^{-10} m).



Εικόνα 4.2 Στερεοπυκνόμετρο ηλίου MVP-1 της Quantachrome.

Η διαδικασία μέτρησης περιλαμβάνει την επιλογή και λειοτρίβιση των προς μέτρηση τεμαχίων προϊόντων εκβολής, τη μέτρηση της μάζας τους, πριν και μετά την λειοτρίβιση, και την τοποθέτηση του λειοτριβιμένου υλικού στην κυψελίδα του πυκνόμετρου. Σε κάθε μέτρηση η κυψελίδα πληρώνεται στα 2/3 περίπου του όγκου της, ώστε να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση.

Ο χειρισμός του πυκνόμετρου μετά την εισαγωγή της κυψελίδας με το δείγμα σε αυτό περιλάμβανε τα παρακάτω κύρια βήματα :

- Τροφοδότηση του δοχείου γνωστού σταθερού όγκου (V_R) με ήλιο και καταγραφή της ένδειξης της πίεσης του πυκνομέτρου (πίεση P_I). Σημαντικό στοιχείο κατά τη μέτρηση αυτή ήταν η τιμή της πίεσης P_I να παραμένει σταθερή περίπου στα 17 psi.

- Διοχέτευση του ηλίου στην κυψελίδα του πυκνομέτρου και μέτρηση της ένδειξης του η οποία αντιστοιχεί στην πίεση P_2 . Η τιμή αυτή για τα συγκεκριμένα δείγματα βρέθηκε ότι κυμαίνεται μεταξύ 6,6 και 7,2 psi.

Μέσω των πιέσεων P_1 και P_2 υπολογίζεται ο πραγματικός όγκος του δείγματος στην κυψελίδα με βάση την εξίσωση που προτείνει ο κατασκευαστής του πυκνόμετρου:

$$V_t = \alpha_1 - \alpha_2 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right)$$

Όπου α_1 και α_2 είναι οι σταθερές του μηχανήματος.

Συνεπώς, γνωρίζοντας την τιμή του πραγματικού όγκου (V_t) του δείγματος η πραγματική πυκνότητα υπολογίζεται τελικά από την παρακάτω σχέση:

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

Το πυκνόμετρο Quantachrome μπορεί να έχει τρεις κυψελίδες δείγματος διαφορετικού όγκου η καθεμία, οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον όγκο του δείγματος που πρόκειται να προσδιορισθεί. Οι σταθερές α_1 και α_2 της παραπάνω εξίσωσης εξαρτώνται από την κυψελίδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση. Η τιμή τους υπολογίζεται κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου που γίνεται με τη χρήση μεταλλικών σφαιρών γνωστής διαμέτρου.

4.4.3 Στερεοσκοπία

Για την παρατήρηση της δομής των προϊόντων εκβολής χρησιμοποιήθηκε το στερεομικροσκόπιο Olympus SZ61, (Εικόνα 4.3) το οποίο έχει προσαρμοσμένη έγχρωμη ψηφιακή κάμερα ανάλυσης 3,3MPixel. Εξετάστηκαν οι κάθετες διατομές δειγμάτων πάχους 2mm. Όλα τα δοκίμια φωτογραφήθηκαν με μεγέθυνση 8x.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται φωτογραφίες μερικών από τα προϊόντα εκβολής που παρήχθησαν. Παρατηρείται η ομοιομορφία της δομής των δειγμάτων καθώς και η μεταβολή της διόγκωσης των προϊόντων. Παρατηρώντας τη μακροδομή των διαφόρων προϊόντων εκβολής επιβεβαιώνονται και με οπτικό τρόπο οι μεταβολές σαν αποτέλεσμα των συνθηκών εκβολής και της σύστασης της πρώτης ύλης. Παρατηρείται μείωση της διόγκωσης με την αύξηση της θερμοκρασία εκβολής, της υγρασίας του υλικού τροφοδοσίας και της συγκέντρωσης του καρότου ενώ αντίθετα παρατηρείται αύξηση της διόγκωσης με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών. Επιπρόσθετα φαίνεται ότι ανεξαρτήτως του μεγέθους της διαμέτρου του προϊόντος το πορώδες του είναι υψηλό, όπως βρέθηκε και ενόργανα μέσω του στερεοπυκνομέτρου για όλα τα προϊόντα εκβολής που εξετάστηκαν.

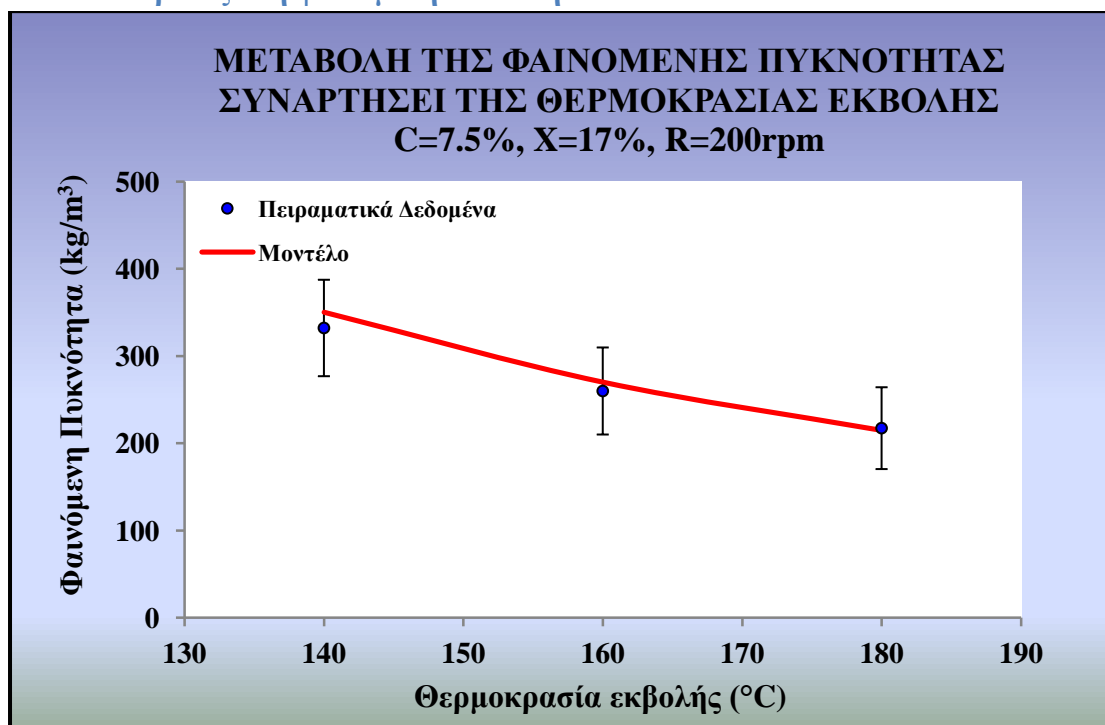


Εικόνα 4.3 Στερεομικροσκόπιο Olympus SZ61.

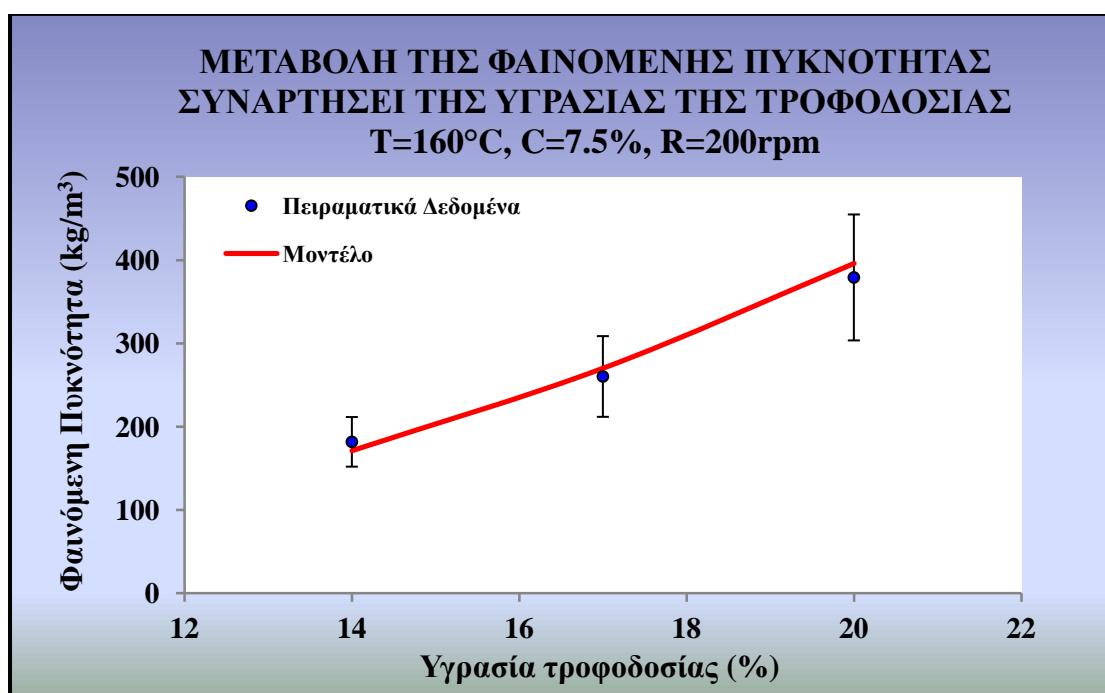
4.5 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων και συσχετίζουν τις δομικές ιδιότητες με τις συνθήκες της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών.

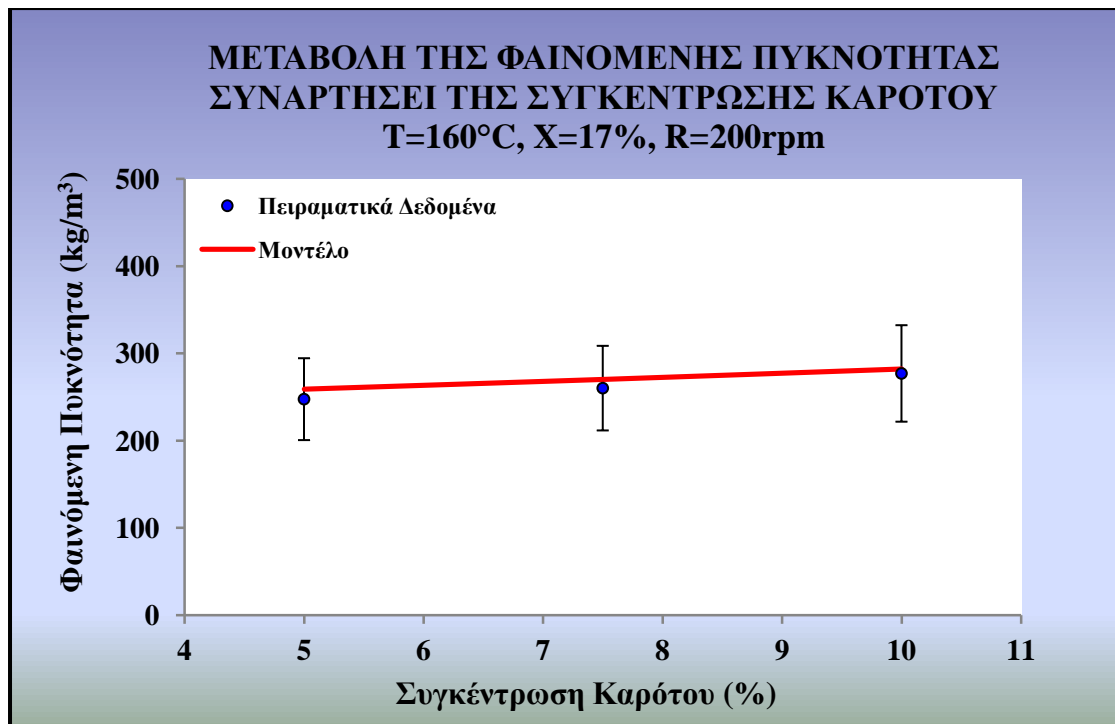
4.5.1 Μεταβολές στη φαινόμενη πυκνότητα



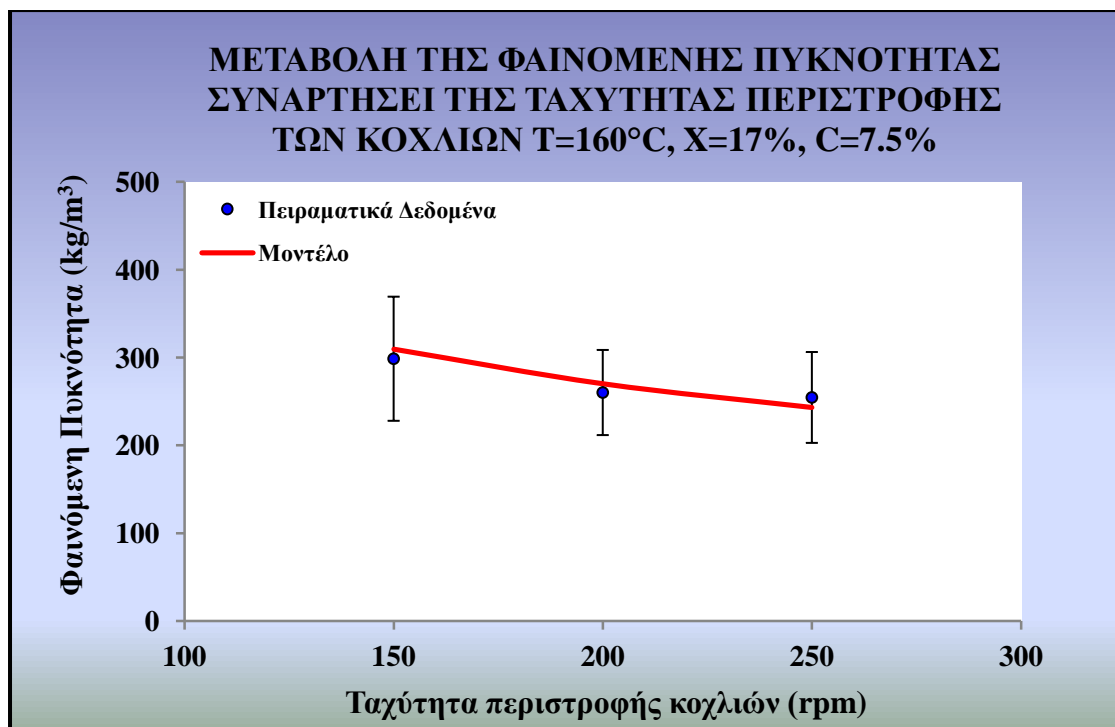
Διάγραμμα 4.1 Μεταβολή της φαινόμενης πυκνότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 4.2 Μεταβολή της φαινόμενης πυκνότητας συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

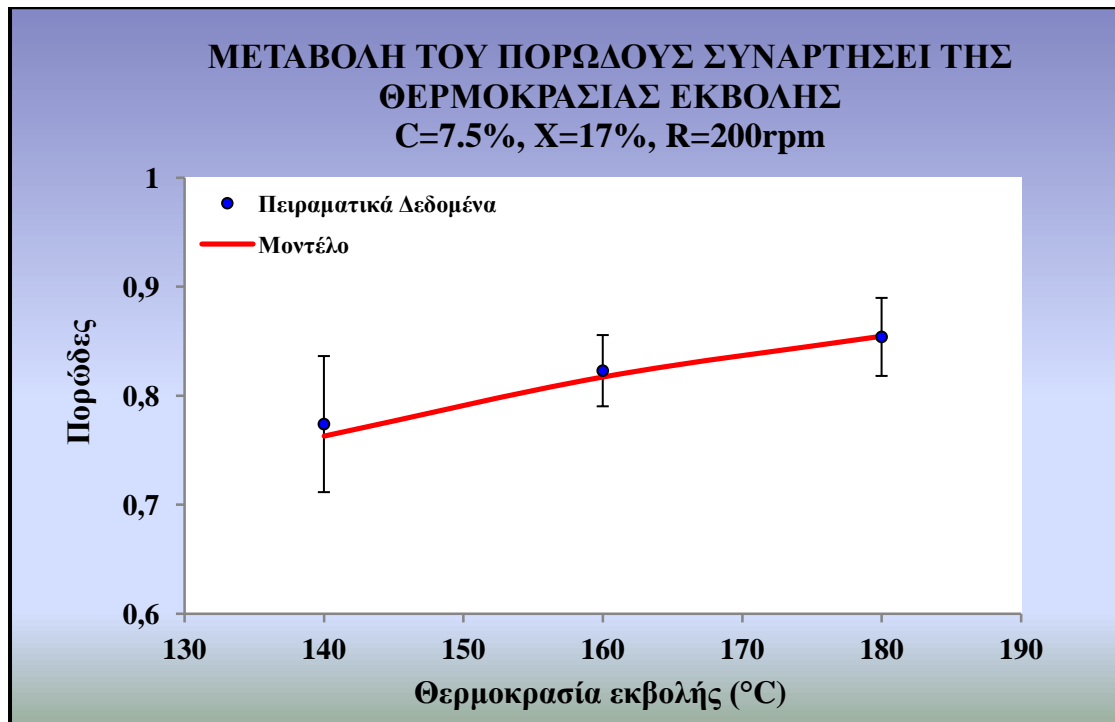


Διάγραμμα 4.3 Μεταβολή της φαινόμενης πυκνότητας συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου.

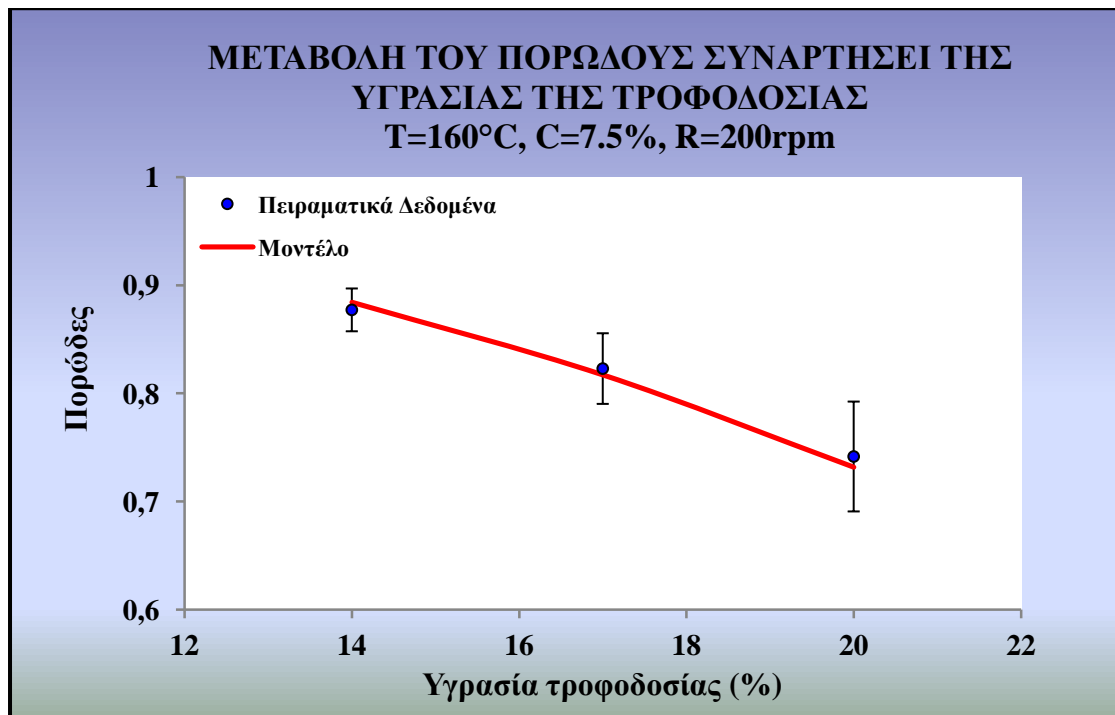


Διάγραμμα 4.4 Μεταβολή της φαινόμενης πυκνότητας συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

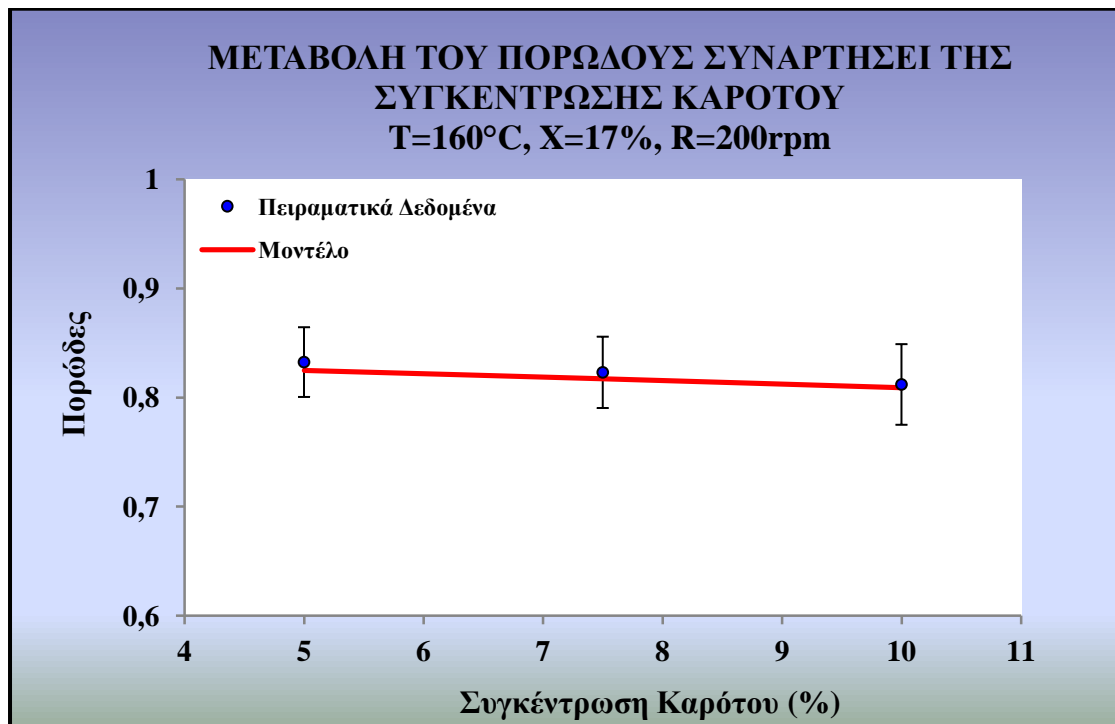
4.5.2 Μεταβολές στο πορώδες



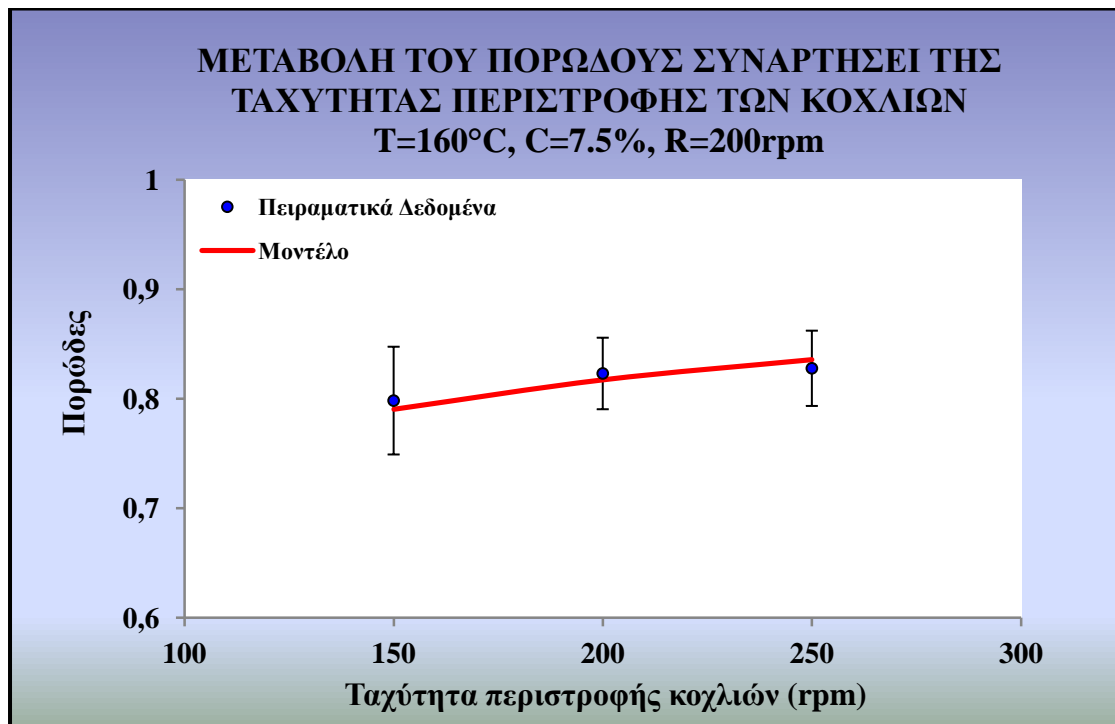
Διάγραμμα 4.5 Μεταβολή του πορώδους συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 4.6 Μεταβολή του πορώδους συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

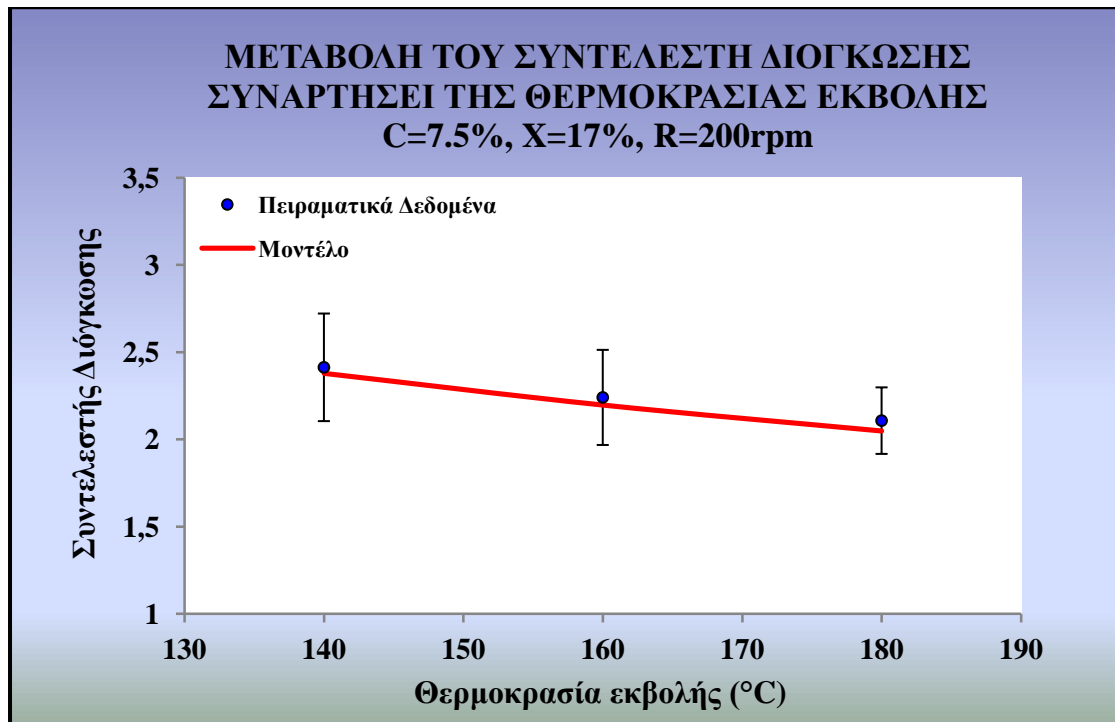


Διάγραμμα 4.7 Μεταβολή του πορώδους συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου.

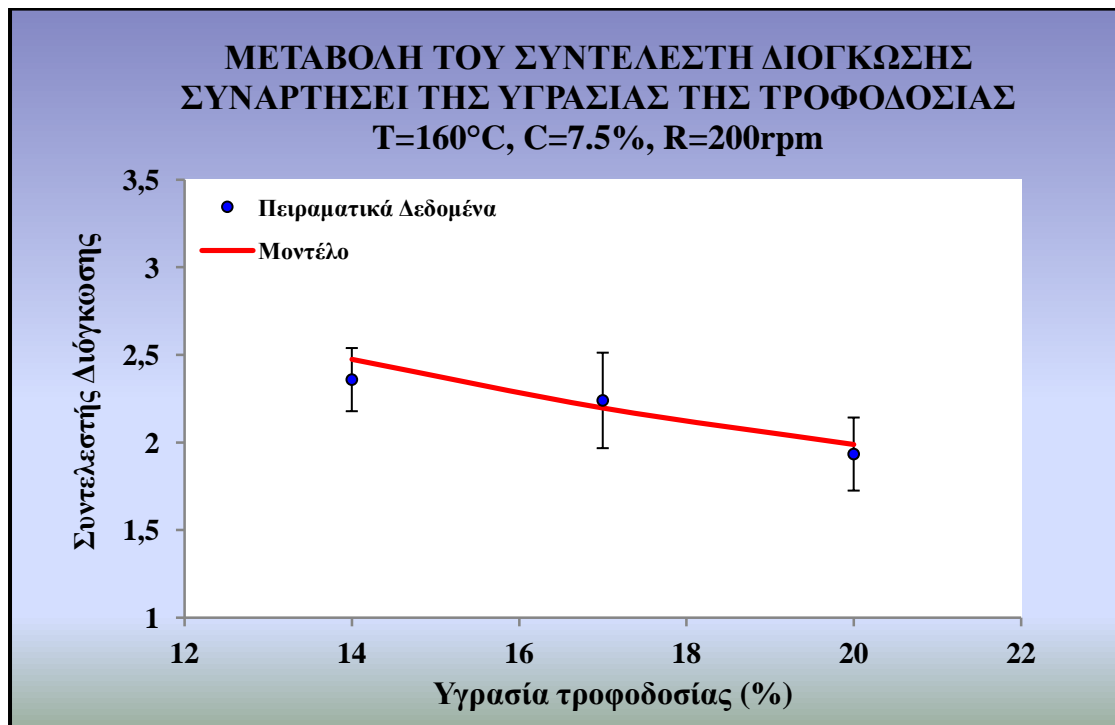


Διάγραμμα 4.8 Μεταβολή του πορώδους συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

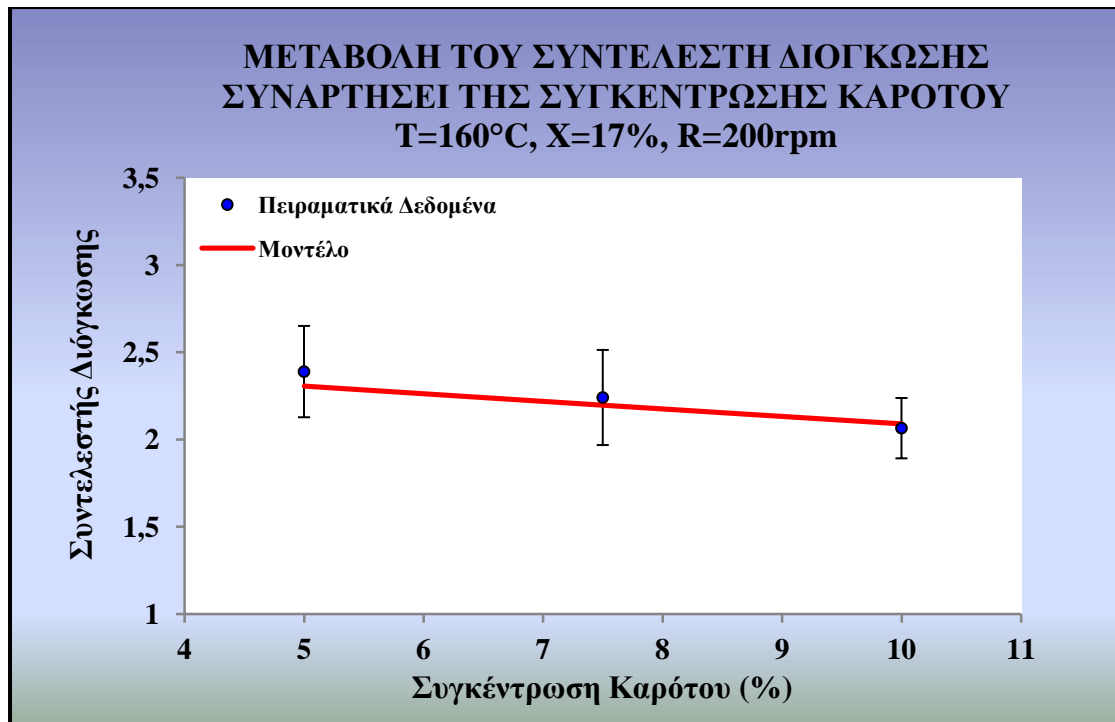
4.5.3 Μεταβολές στο συντελεστή διόγκωσης



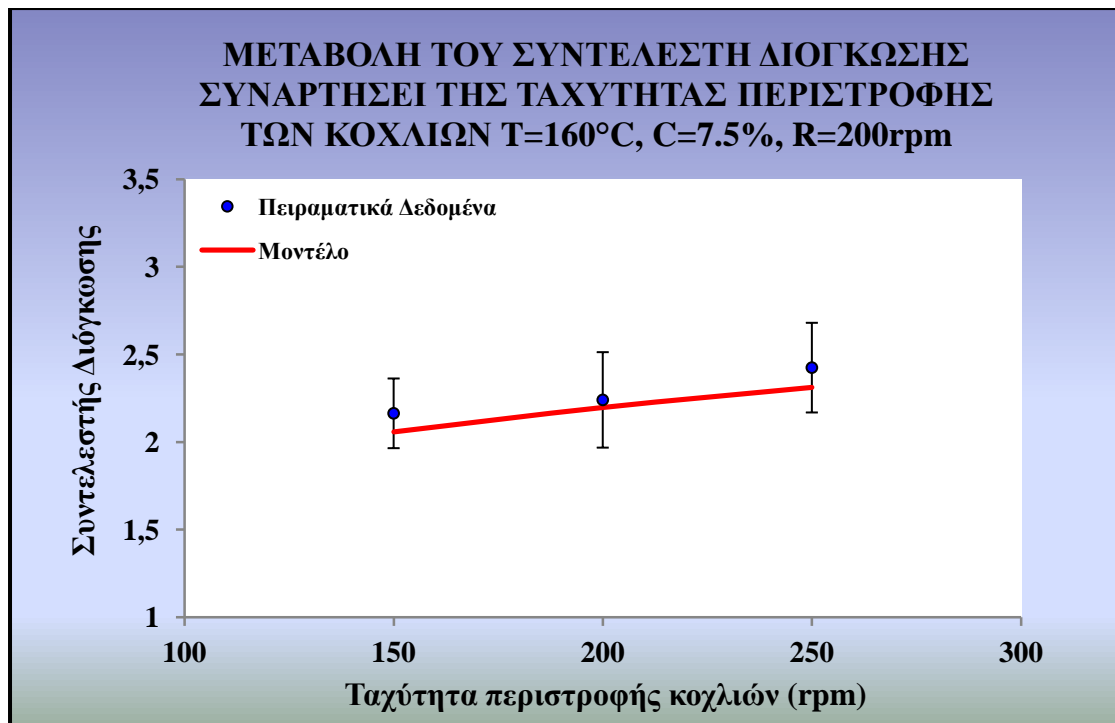
Διάγραμμα 4.9 Μεταβολή του συντελεστή διόγκωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 4.10 Μεταβολή του συντελεστή διόγκωσης συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.















Διάγραμμα 4.11 Μεταβολή του συντελεστή διόγκωσης συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου.


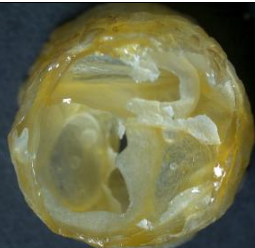






Διάγραμμα 4.12 Μεταβολή του πορώδους συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.







Πίνακας 4.2 Εικόνες τροφίμων εκβολής, όπου παρατηρείται η μακροδομή.

Σύσταση & Συνθήκες	Φωτογραφίες δειγμάτων	Φωτογραφίες διατομής με στερεοσκόπιο (8x)
<u>Επίδραση Υγρασίας τροφοδοσίας</u>		
X = 14% C = 7.5% T = 160°C R = 200 rpm		
X = 17% C = 7.5% T = 160°C R = 200 rpm		
X = 20% C = 7.5% T = 160°C R = 200 rpm		
<u>Επίδραση Συγκέντρωσης σε καρότο</u>		
C = 5% X = 17% T = 160°C R = 200 rpm		
C = 7.5% X = 17% T = 160°C R = 200 rpm		
C = 10% X = 17% T = 160°C R = 200 rpm		

**Επίδραση
Θερμοκρασίας εκβολής**

<p>T = 140°C C = 7.5% X = 17% R = 200 rpm</p>		
<p>T = 160°C C = 7.5% X = 17% R = 200 rpm</p>		
<p>T = 180°C C = 7.5% X = 17% R = 200 rpm</p>		

**Επίδραση
Ταχύτητας περιστροφής κοχλιών**

<p>R = 150 rpm C = 7.5% X = 17% T = 160°C</p>		
<p>R = 200 rpm C = 7.5% X = 17% T = 160°C</p>		
<p>R = 250 rpm C = 7.5% X = 17% T = 160°C</p>		

4.6 Συμπεράσματα

4.6.1 Πραγματική πυκνότητα

Η πραγματική πυκνότητα όλων των προϊόντων εκβολής βρέθηκε περίπου σταθερή και ίση με $1,477 \text{ g/cm}^3$. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η πραγματική πυκνότητα κυμαίνεται από την πυκνότητα του νερού έως την πυκνότητα των ξηρών στερεών. Τα προϊόντα εκβολής είναι πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, επομένως η πραγματική τους πυκνότητα πλησιάζει την τιμή της πυκνότητας των ξηρών στερεών.

4.6.2 Φαινόμενη πυκνότητα

Οι εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του μαθηματικού προτύπου για τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.3.

Παράμετρος	$n_{0,\rho}$	$n_{C,\rho}$	$n_{T,\rho}$	$n_{X,\rho}$	$n_{R,\rho}$
	270,102	-1,597	-1,946	2,357	-0,474

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα εκτίμησης παραμέτρων προτύπου για την φαινόμενη πυκνότητα

Συνεπώς, η εξίσωση του προτύπου που προβλέπει την φαινόμενη πυκνότητα του τελικού προϊόντος είναι η ακόλουθη.

$$\rho_a = 270,102 \cdot \left(\frac{100 - C}{92,5}\right)^{-1,597} \cdot \left(\frac{T}{160}\right)^{-1,946} \cdot \left(\frac{X}{17}\right)^{2,357} \cdot \left(\frac{R}{200}\right)^{-0,474}$$

Και έχει εφαρμογή για εύρος τιμών: $C:5-10\%$, $T:140-180^\circ\text{C}$, $X:14-20\%$, $R:150-250 \text{ rpm}$

Από τα Διαγράμματα 4.1 έως 4.4, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η φαινόμενη πυκνότητα των προϊόντων εκβολής αυξήθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας και της συγκέντρωσης του καρότου, ενώ μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία των προϊόντων εκβολής αλλάζει τη μοριακή δομή της αμυλοπηκτίνης που περιέχεται στο άμυλο του ρυζάλευρου, μειώνοντας το ιζώδες και προκαλώντας κατ' επέκταση την αύξηση της φαινόμενης πυκνότητας.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου οδήγησε στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη πυκνότητα. Το καρότο περιέχει υψηλά ποσοστά φυτικών ινών. Όταν προστίθενται σε αμυλούχα προϊόντα, υλικά με περιέχει υψηλά ποσοστά φυτικών ινών, προκαλούν αύξηση της πυκνότητας, όπως αναμένεται και από τη βιβλιογραφία (Obatolu Veronica et al. 2006, Pastor-Cavada et al., Anton et al. 2009, Sacchetti et al. 2004).

Η αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής μειώνει την πυκνότητα των παραγόμενων προϊόντων εκβολής. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες του μείγματος, με αποτέλεσμα να ευνοείται η ανάπτυξη φυσαλίδων κατά τη διάρκεια της εκβολής και η δημιουργία λιγότερο πυκνής δομής. Επίσης, η αύξηση της πίεσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί σε αυξημένη εκτόνωση και διόγκωση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο με βιβλιογραφικές αναφορές (Ding, et al. 2005, Suvendu et al. 1997, Lazou, A. and M. Krokida).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκάλεσε τη μείωση της πυκνότητας των προϊόντων εκβολής. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο μειωμένο ιξώδες, την αύξηση της ελαστικότητας της ζύμης όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής και στη ζελατινοποίηση του αμύλου. Όσο αυξάνεται η ζελατινοποίηση, ο όγκος των διογκωμένων προϊόντων αυξάνει και η πυκνότητα μειώνεται (Sacchetti et al. 2004, Hagenimana et al. 2006).

4.6.3 Πορώδες

Από τα Διαγράμματα 4.5 έως 4.8, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το πορώδες των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας και της συγκέντρωσης του καρότου, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, όπως αναμένεται από την εξίσωση

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$$

4.6.4 Συντελεστής διόγκωσης

Οι εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του μαθηματικού προτύπου για τον προσδιορισμό του συντελεστή διόγκωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.4.

Παράμετρος	$n_{0,E}$	$n_{C,E}$	$n_{T,E}$	$n_{X,E}$	$n_{R,E}$
	2,197	1,820	-0,594	-0,612	0,228

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα εκτίμησης παραμέτρων προτύπου για την φαινόμενη πυκνότητα

Συνεπώς, η εξίσωση του προτύπου που προβλέπει τον συντελεστή διόγκωσης του τελικού προϊόντος είναι η ακόλουθη.

$$E = 2,197 \cdot \left(\frac{100 - C}{92,5}\right)^{1,820} \cdot \left(\frac{T}{160}\right)^{-0,594} \cdot \left(\frac{X}{17}\right)^{-0,612} \cdot \left(\frac{R}{200}\right)^{0,228}$$

Και έχει εφαρμογή για εύρος τιμών: C:5-10%, T:140-180°C, X:14-20%, R:150-250 rpm

Από τα Διαγράμματα 4.9 έως 4.12, μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο συντελεστής διόγκωσης των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας της συγκέντρωσης του καρότου και της θερμοκρασίας, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία των προϊόντων εκβολής αλλάζει τη μοριακή δομή της αμυλοπηκτίνης που περιέχεται στο άμυλο του ρυζάλευρου, μειώνοντας το ιξώδες και προκαλώντας κατ' επέκταση τη μείωση του συντελεστή διόγκωσης και τη διαμόρφωση πιο συμπαγών δομών. (Baik et al. 2004)

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε καρότο είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του συντελεστή διόγκωσης. Μειώνοντας την ποσότητα του ρυζάλευρου στα μείγματα και αυξάνοντας τη συγκέντρωση των φυτικών ινών μέσω της προσθήκης του καρότου, σχηματίστηκαν λιγότερο διογκωμένα προϊόντα λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ φυτικών ινών και του αμύλου. Η μικρότερη διόγκωση των προϊόντων μπορεί επίσης να οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτικές ίνες μπορούν να προκαλέσουν ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων και να αποτρέψουν τις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν στο μέγιστο δυνατό (Anton et al. 2009, Lue, S. and H.E. Huff 1991).

Στη βιβλιογραφία, υπάρχει η γενικότερη τάση της αύξησης του συντελεστή διόγκωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω του ότι ο βαθμός της υπερθέρμανσης του νερού κατά τη διάρκεια της εκβολής αυξάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη διόγκωση. Η μείωση του συντελεστή διόγκωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, στη συγκεκριμένη μελέτη, πιθανώς να οφείλεται σε μεγαλύτερο κατακερματισμό του αμύλου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών εκβολής (Hagenimana et al. 2006).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκάλεσε την αύξηση του συντελεστή διόγκωσης. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο μειωμένο ιξώδες και την αύξηση της ελαστικότητας της ζύμης όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών. Επίσης, η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής είχε ως αποτέλεσμα το μικρότερο χρόνο παραμονής και τη μείωση του βαθμού ζελατινοποίησης του αμύλου (Lue, S. and H.E. Huff 1991). Η αλλαγή στην ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών μπορεί να επηρεάσει την επίδραση της θερμοκρασίας στο συντελεστή διόγκωσης.

Τέλος, παρατίθενται φωτογραφίες των κεντρικών δειγμάτων καθώς και φωτογραφίες διατομής που ελήφθησαν από το στερεομικροσκόπιο. Οι εικόνες αυτές, αποδεικνύουν και οπτικά ότι ο συντελεστής διόγκωσης μειώνεται με αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου, της υγρασίας τροφοδοσίας και της θερμοκρασίας εκβολής ενώ αντίθετα μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗ

5.1 Αντικείμενο και στόχοι

Οι λειτουργικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής είναι πολύ σημαντικές γιατί καθορίζουν τη συμπεριφορά του τροφίμου, όταν αυτό καταναλώνεται ή χρησιμοποιείται σε διάφορα συστήματα τροφίμων και επηρεάζουν την ποιότητα και την αποδοχή του τελικού τροφίμου. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζονται από τη λειτουργικότητα των συστατικών που περιέχονται στο τρόφιμο εκβολής, δηλαδή των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων κλπ. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι εκείνες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ τροφίμου, νερού και ελαίων και περιλαμβάνουν την ικανότητα απορρόφησης νερού, τη ικανότητα διαλυτότητας σε νερό και την ικανότητα απορρόφησης ελαίου.

Κατά τη διάρκεια της εκβολής τα συστατικά που επεξεργάζονται υφίστανται διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές, όπως η μετουσίωση και αναδιαμόρφωση των πρωτεϊνών, η ζελατινοποίηση και μερική δεξτρίνοποίηση του αμύλου, και η δημιουργία διαφόρων συμπλόκων, όπως για παράδειγμα η δημιουργία των συμπλόκων αμυλόζης – λιπιδίων. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται από τις συνθήκες εκβολής (θερμοκρασία και διατημητικές τάσεις) και τη συγκέντρωση των συστατικών που περιλαμβάνονται στο προς εκβολή μίγμα. Κατά συνέπεια η λειτουργικότητα του παραγόμενου τροφίμου θα επηρεάζεται από όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν στην μεταβολή της δομής και της λειτουργικότητας των συστατικών του προς εκβολή μίγματος.

Συνεπώς, κύριος στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στις λειτουργικές ιδιότητες (ικανότητα απορρόφησης νερού, ικανότητα διαλυτότητας σε νερό και ικανότητα απορρόφησης ελαίου) προϊόντων εκβολής από μίγματα ρυζάλευρου και αποξηραμένης, μέσω ξήρασης με κατάψυξη, σκόνης καρότου.

5.2 Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού λειτουργικών ιδιοτήτων

5.2.1 Ικανότητα απορρόφησης νερού και διαλυτότητα σε νερό

Η ικανότητα απορρόφησης νερού (*WAI* – Water Absorption Index - *IAN*) προσδιορίστηκε με βάση την μέθοδο των Anderson, Conway, and Peplinski (1970). Σε προζυγισμένο σωλήνα φυγοκέντρωσης των 15 mL προστίθενται 5 mL απιονισμένο νερό και 0,2 g λειοτριβιμένου δείγματος. Ο σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα Vortex για 2 min και στη συνέχεια φυγοκεντρείται επί 20 min στις 3000rpm. Το υπερκείμενο υγρό αποχύνεται σε προζυγισμένο φιαλίδιο. Το ενυδατωμένο ίζημα που παραμένει ζυγίζεται και η *IAN* υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$IAN = \frac{m_g}{m_s}$$

Όπου η m_g μάζα του ενυδατωμένου δείγματος (g) και m_s η μάζα του δείγματος (g).

Η ικανότητα διαλυτότητας σε νερό (Water Solubility Index – WSI – IΔN) προσδιορίστηκε από το ποσοστό των διαλυμένων στερεών που απομένουν στο προζυγισμένο φιαλίδιο μετά την εξάτμιση σε φούρνο κενού του υπερκείμενου υγρού της φυγοκέντρωσης.

Η IΔN υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$IΔN = \frac{m_{ds}}{m_s}$$

Όπου m_{ds} η μάζα των ξηρών στερεών του υπερκείμενου υγρού (g) και m_s η μάζα του δείγματος (g).

Τα αποτελέσματα είναι οι μέσοι όροι τουλάχιστον δύο μετρήσεων για κάθε επανάληψη.

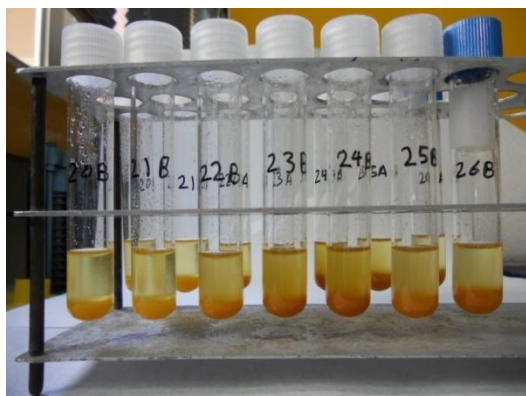
5.2.2 Ικανότητα απορρόφησης ελαίου

Η ικανότητα απορρόφησης ελαίου προσδιορίστηκε με βάση την μέθοδο των Liadakis, Floridis, Tzia, and Oreopoulou (1993). Σε προζυγισμένο σωλήνα φυγοκέντρωσης των 15 mL προστίθενται 3 mL εξευγενισμένου αραβοσιτελαίου (το αραβοσιτέλαιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν της εταιρίας Μινέρβα Α.Ε. Ελαιουργικών Επιχειρήσεων) και 0,5 g λειοτριβμένου δείγματος. Ο σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα Vortex για 1 min και αφήνεται σε ηρεμία επί 30 min (Εικόνα 5.1). Στη συνέχεια φυγοκεντρείται επί 20 min στις 3000rpm. Στο τέλος της φυγοκέντρωσης (Εικόνα 5.2) αποχύνεται το υπερκείμενο αραβοσιτέλαιο και καταγράφεται το νέο βάρος του σωλήνα. Η IAE υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

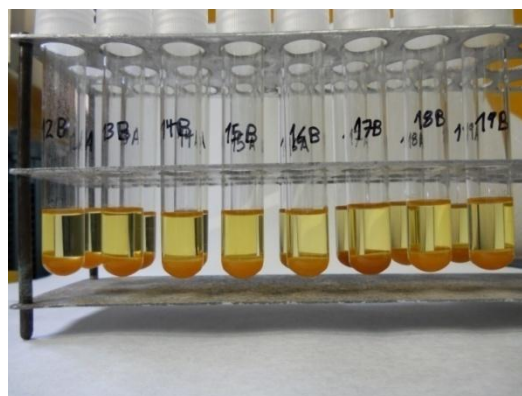
$$IAE = \frac{m_{oil}}{m_s}$$

Όπου m_{oil} το βάρος του δείγματος μαζί με το έλαιο που έχει απορροφήσει (g) και m_s το βάρος του δείγματος (g).

Τα αποτελέσματα είναι οι μέσοι όροι τουλάχιστον δύο μετρήσεων για κάθε επανάληψη.



Εικόνα 5.1 Κατά τη διάρκεια μέτρησης IAE: (Δείγματα αφήνονται σε ηρεμία μετά την ανάδευση στη μηχανή Vortex)

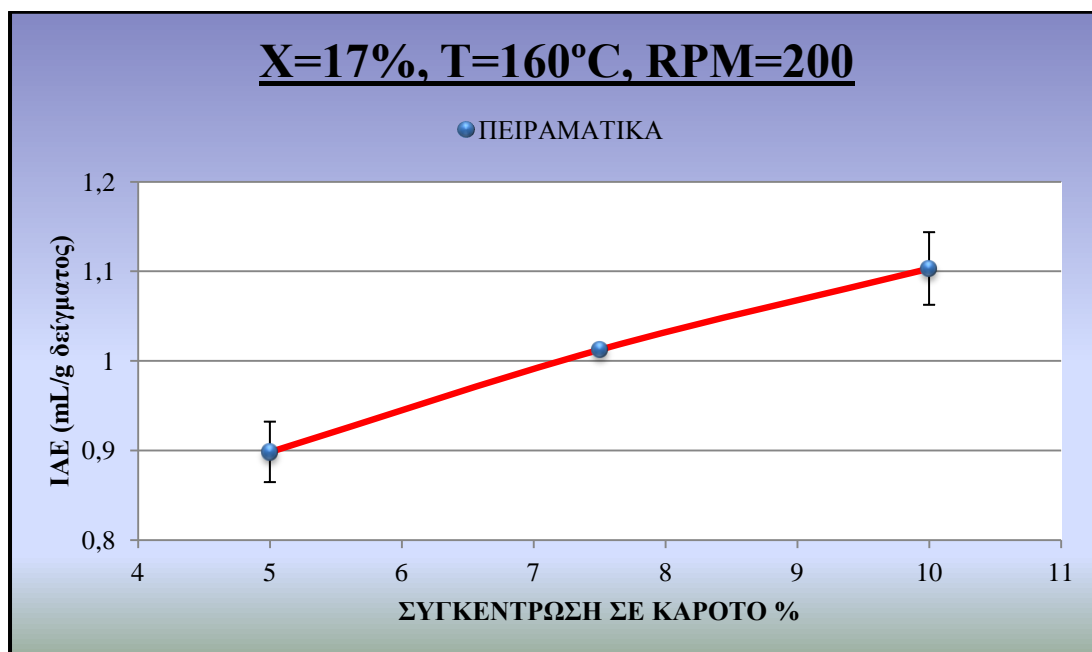


Εικόνα 5.2 Κατά τη διάρκεια μέτρησης της IAE: (Δείγματα μετά την 20λεπτη φυγοκέντρωση)

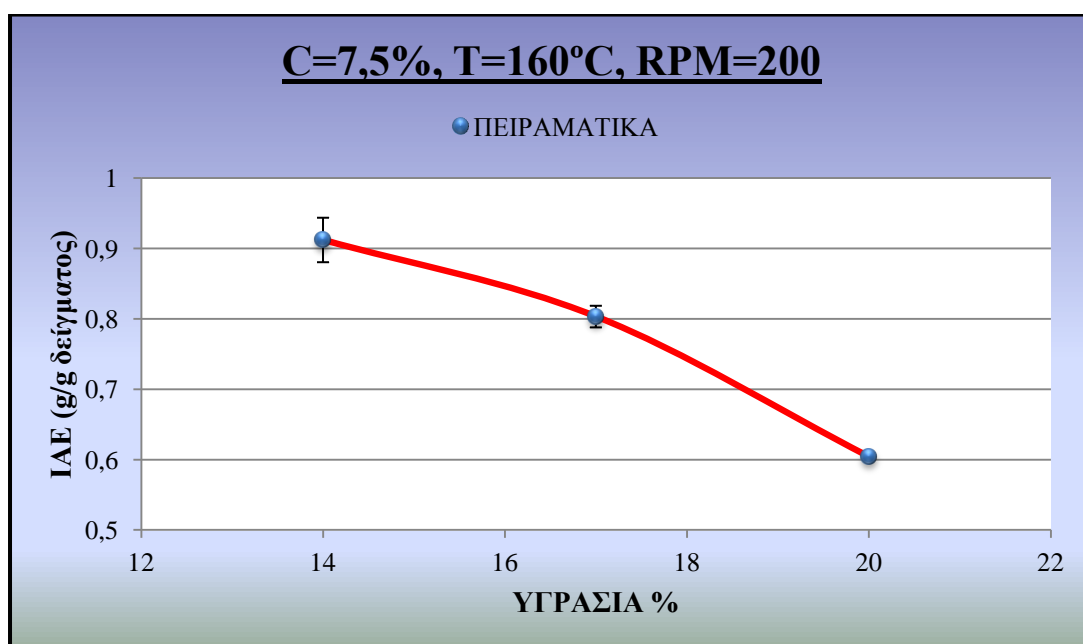
5.3 Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων και συσχετίζουν τις λειτουργικές ιδιότητες με τις συνθήκες της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών.

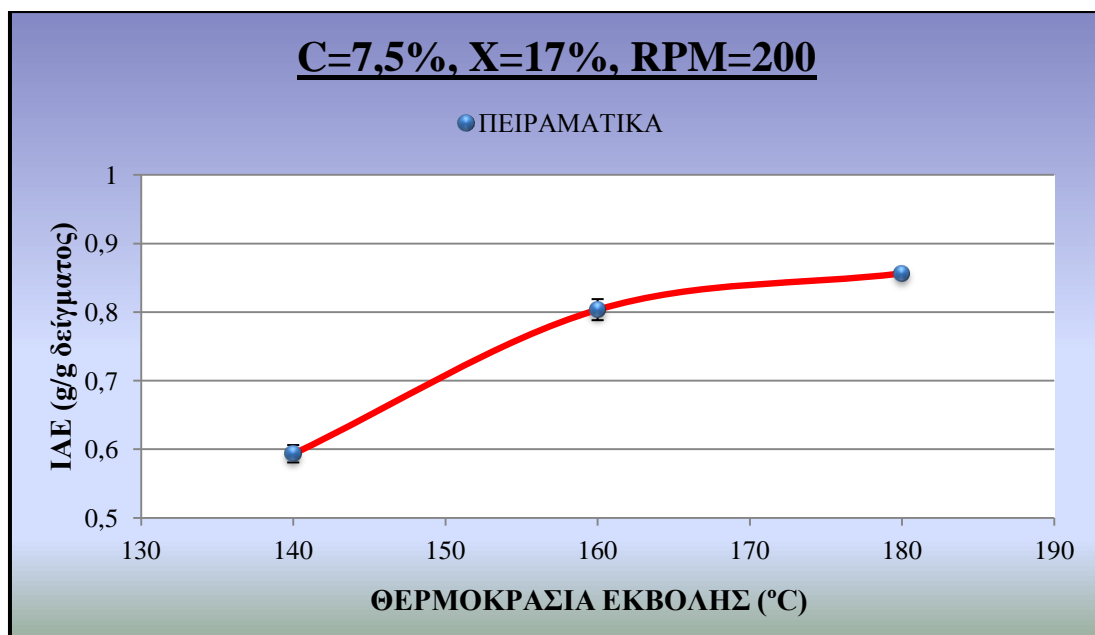
5.3.1 Μεταβολές στην Ικανότητα Απορρόφησης Ελαίου (ΙΑΕ)



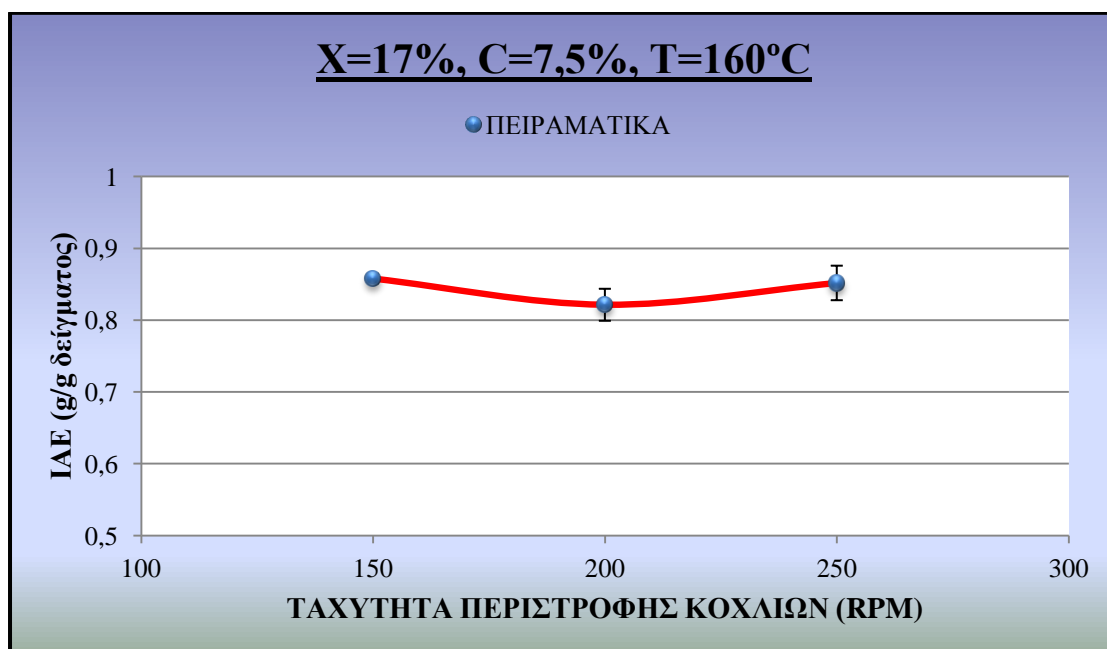
Διάγραμμα 5.1 Μεταβολή της ΙΑΕ συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 5.2 Μεταβολή της ΙΑΕ συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

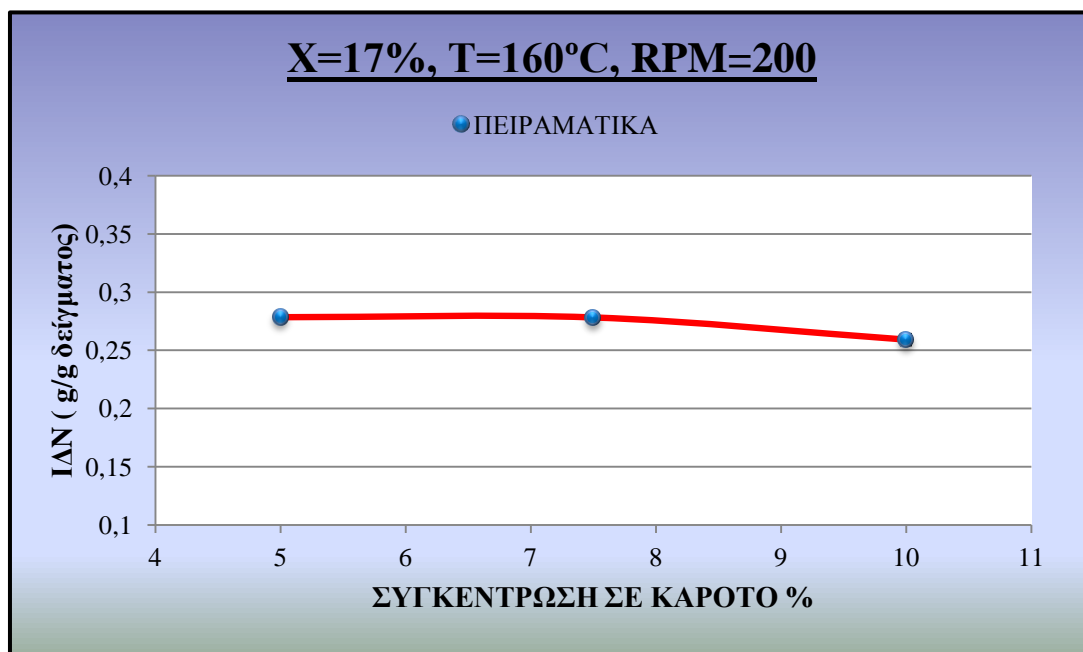


Διάγραμμα 5.3 Μεταβολή της ΙΑΕ συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.

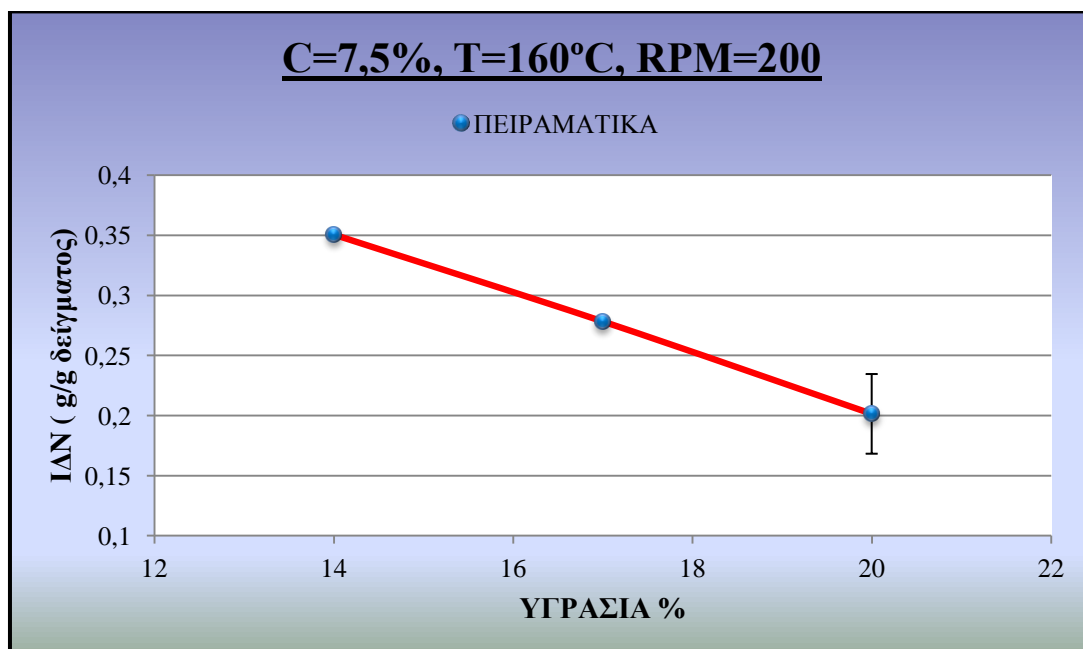


Διάγραμμα 5.4 Μεταβολή της ΙΑΕ συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

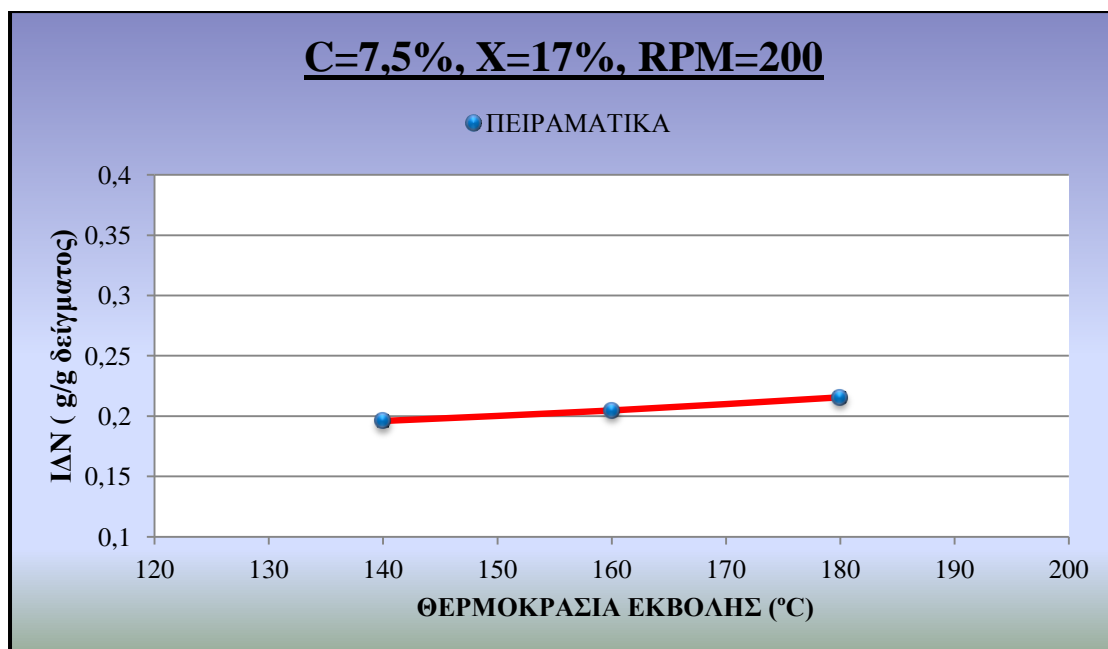
5.3.2 Μεταβολές στην Ικανότητα Διαλυτότητας σε Νερό (ΙΔΝ)



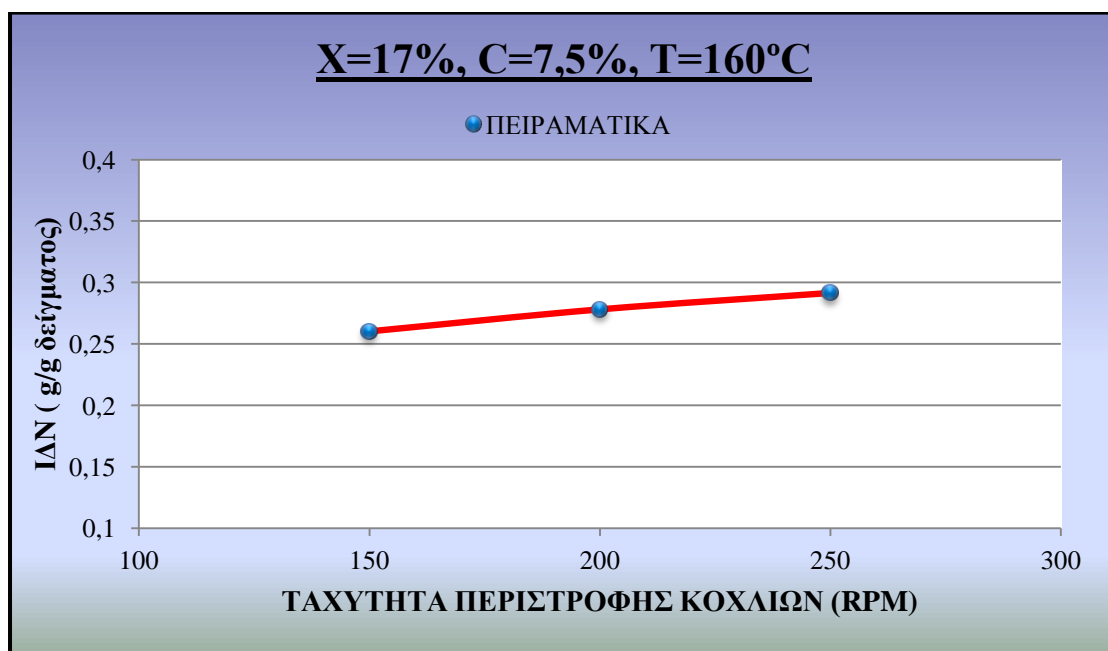
Διάγραμμα 5.5 Μεταβολή της ΙΔΝ συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 5.6 Μεταβολή της ΙΔΝ συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

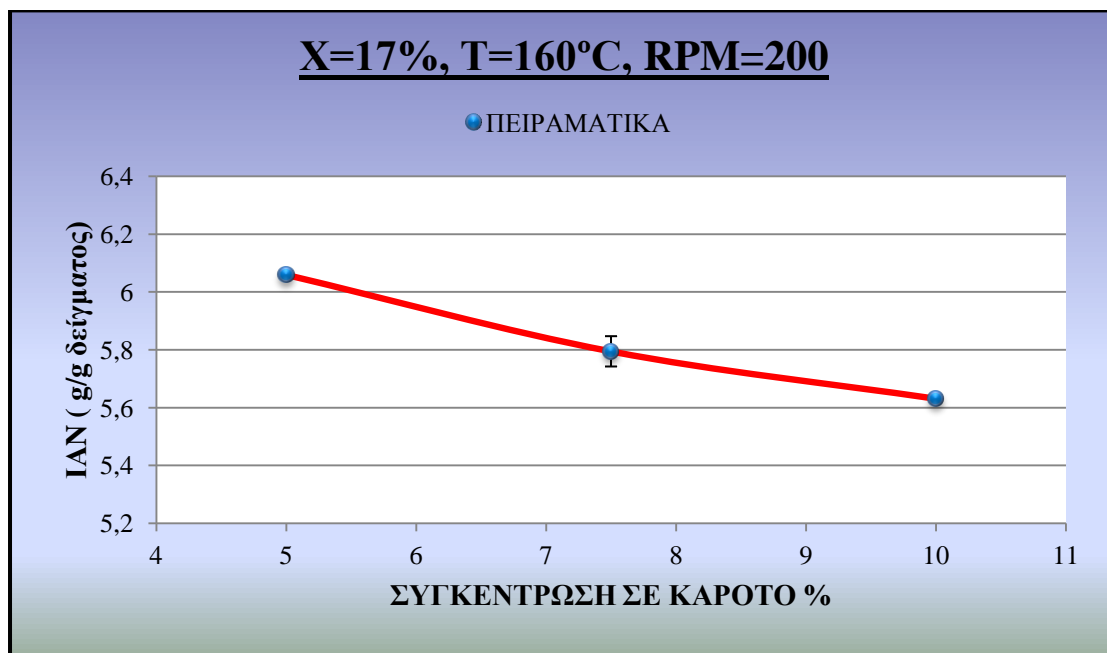


Διάγραμμα 5.7 Μεταβολή της ΙΑΝ συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.

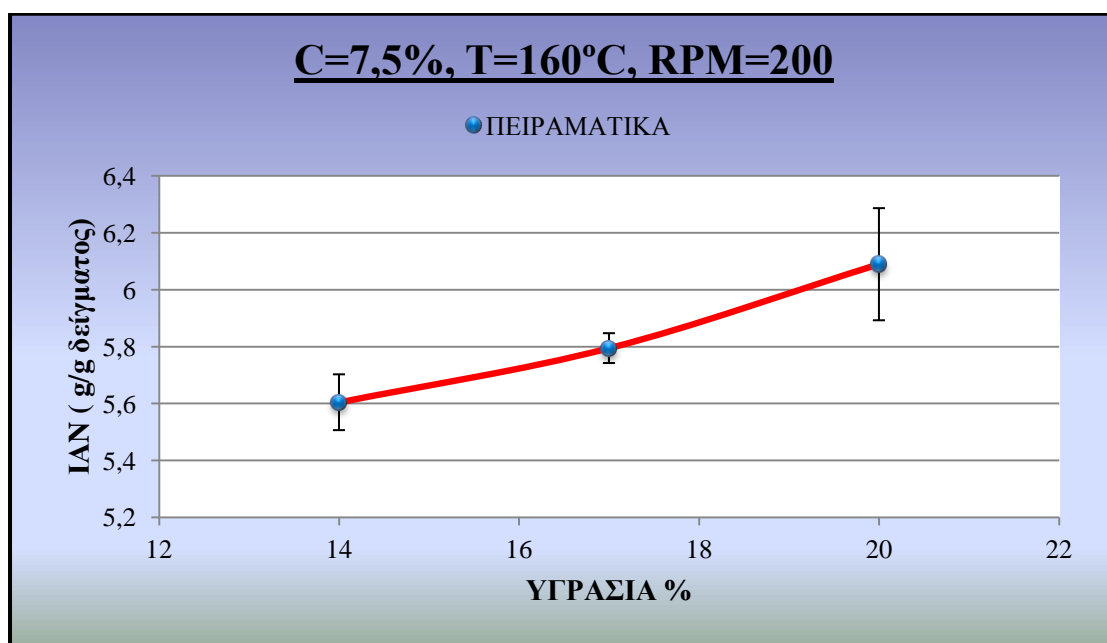


Διάγραμμα 5.8 Μεταβολή της ΙΑΝ συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

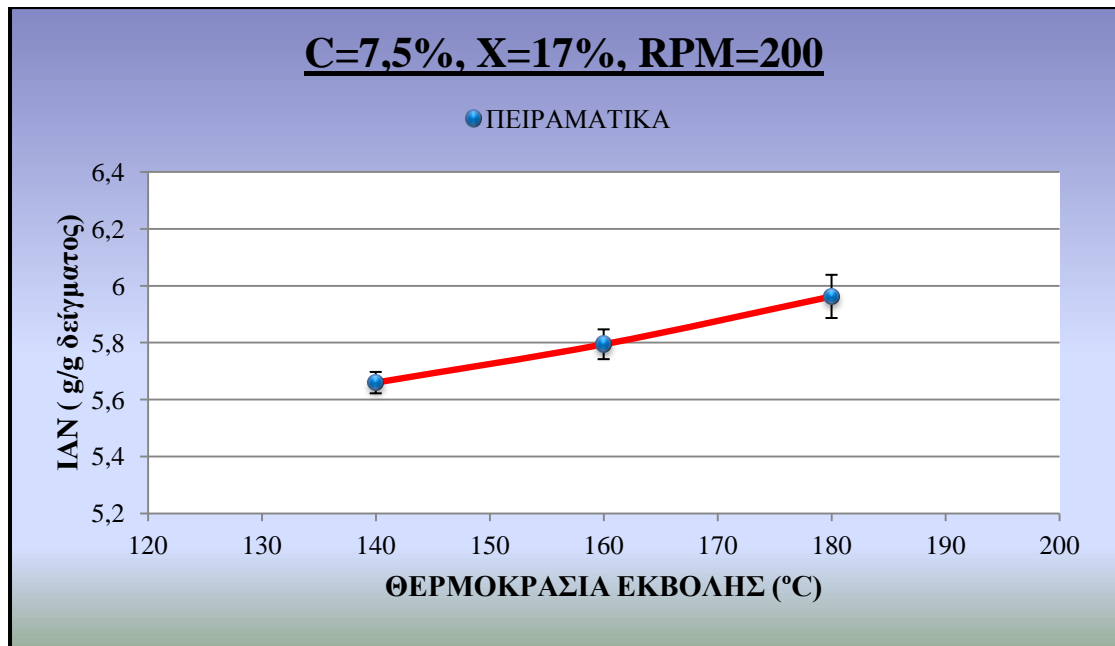
5.3.3 Μεταβολές στην Ικανότητα Απορρόφησης Νερού (IAN)



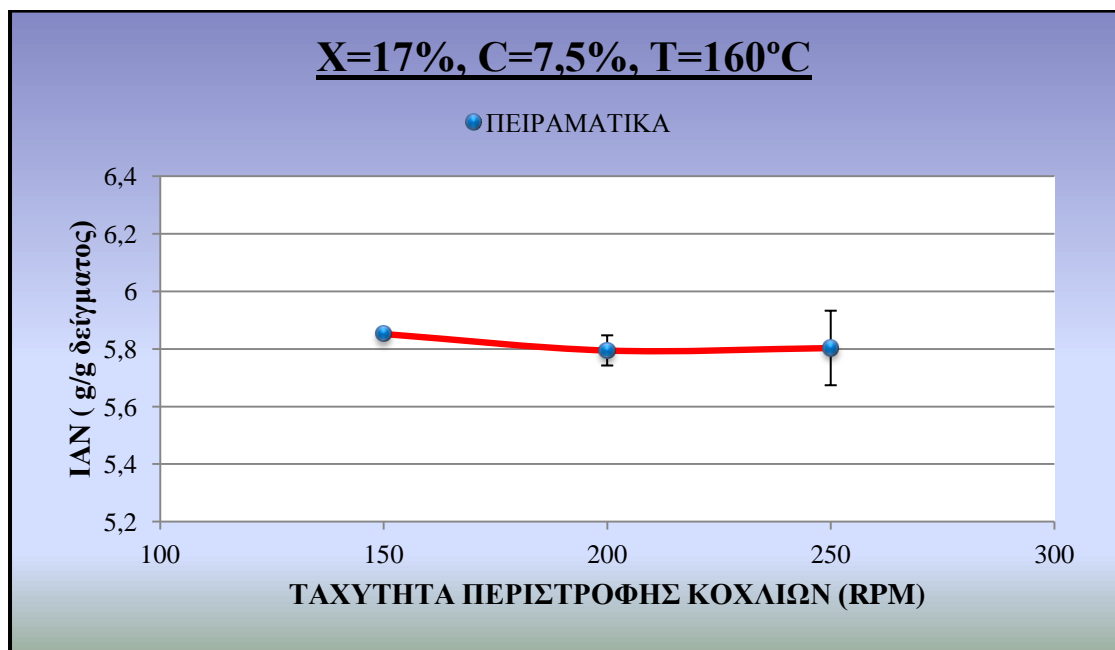
Διάγραμμα 5.9 Μεταβολή της IAN συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 5.10 Μεταβολή της IAN συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 5.11 Μεταβολή της ΙΑΝ συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 5.12 Μεταβολή της ΙΑΝ συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

5.4 Συμπεράσματα

5.4.1 Ικανότητα απορρόφησης ελαίου (IAE)

Από τα διαγράμματα 5.1 έως 5.4 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η IAE των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου και της περιεχόμενης υγρασίας, αντίθετα αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής, ενώ με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών η IAE φαίνεται αρχικά να μειώνεται και στη συνέχεια να αυξάνεται και πάλι. Οι τιμές της IAE για όλο το φάσμα των πειραμάτων κυμάνθηκαν από 0,65 έως 1,23 g/g δείγματος.

Η αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής αυξάνει το βαθμό ψησίματος των τροφίμων εκβολής (Drago et al., 2007), έχοντας σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρότερων μορίων λόγω της δεξτρίνοποίησης του αμύλου. Η παρουσία των μορίων αυτών μπορεί να είναι υπεύθυνη για την αύξηση της IAE. Γενικά η IAE μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υδροφοβικής φύσης των τροφίμων εκβολής. Τα ληφθέντα αποτελέσματα για τις μεταβολές βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά για την IAE τροφίμων εκβολής από ρύζι (Kadan et al., 2003).

Η αύξηση της υγρασίας τροφοδοσίας μειώνει το βαθμό ψησίματος έχοντας ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων μορίων, συνεπώς η IAE αναμένεται να μειώνεται. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα (Διάγραμμα 5.2).

Η αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας προκαλεί την αύξηση της IAE (Διάγραμμα 5.1). Η μεταβολή αυτή πιθανόν να οφείλεται στις φυτικές ίνες που περιέχει το καρότο οι οποίες συμβάλουν στον φυσικό εγκλεισμό του ελαίου έχοντας ως συνέπεια την αύξηση της τιμής της IAE.

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να έχει σχετικά μικρή επίδραση στην IAE (Διάγραμμα 5.4). Παρατηρείται μια μικρή μείωση της IAE από τις 150 μέχρι τις 200 rpm και στη συνέχεια μια αύξηση της IAE από τις 200 μέχρι τις 250 rpm. Η μείωση της IAE πιθανότατα να οφείλεται στη μείωση του βαθμού δεξτρίνοποίησης του αμύλου. Λόγω αύξησης της ταχύτητας των κοχλιών μειώνεται ο μέσος χρόνος παραμονής του υλικού στον εκβολέα κάτι που έχει ως συνέπεια μείωση του βαθμού δεξτρίνοποίησης. Παράλληλα όμως, όσο συνεχίζουν να αυξάνονται οι στροφές των κοχλιών από τις 200 μέχρι τις 250rpm αυξάνεται και η δύναμη που ασκείται στο εσωτερικό του εκβολέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας άρα και του βαθμού ψησίματος και συνεπώς περαιτέρω δεξτρίνοποίηση του αμύλου. Εκεί ίσως οφείλεται και η μικρή αύξηση της IAE που παρατηρείται από τις 200 μέχρι τις 250 rpm.

5.4.2 Ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN)

Από τα διαγράμματα 5.9 έως 5.12 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η IAN των προϊόντων εκβολής, αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της περιεχόμενης υγρασίας, αντίθετα μειώθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου, ενώ με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, η IAE φαίνεται αρχικά να μειώνεται ελάχιστα αλλά στη συνέχεια να μένει ανεπηρέαστη. Γενικά οι τιμές της IAN για όλο το φάσμα των πειραμάτων κυμάνθηκαν από 5,1 έως 7,19 g/g δείγματος.

Η IAN αποτελεί μέτρο του ποσοστού του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από το άμυλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ζελατινοποίησης, αφού το φυσικό άμυλο δεν απορροφά νερό σε θερμοκρασία δωματίου (Anderson et al., 1970; Colonna et al., 1989; Ding et al., 2006). Η θερμοκρασία εκβολής και η υγρασία τροφοδοσίας είναι γνωστό ότι επηρεάζουν τη ζελατινοποίηση κατά τη διάρκεια της εκβολής και κατά συνέπεια θα επηρεάζουν την IAN.

Συνεπώς, με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής είτε της περιεχομένης υγρασίας η IAN αναμένεται να αυξάνεται κάτι που επαληθεύεται και από τα πειραματικά δεδομένα. Στο παρελθόν οι Lin et al., 2002 είχαν αντίστοιχα αποτελέσματα όπου σε υψηλής υγρασίας προϊόν από σόγια είχε βρεθεί ότι η IAN αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της υγρασίας.

Η αύξηση του ποσοστού του καρότου αυξάνει το περιεχόμενο των τροφίμων εκβολής σε φυτικές ίνες. Η IAN εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των υδρόφιλων ομάδων, στις οποίες προσδένονται τα μόρια του νερού και στην ικανότητα σχηματισμού πηκτών των μακρομορίων (Gomez et al., 1983). Οι φυτικές ίνες έχουν υδρόφιλες ομάδες, κατά τη διάρκεια της εκβολής όμως η επεξεργασία τους οδηγεί στην απώλεια της ικανότητας ενυδάτωσής τους. Η μειωμένη ικανότητα ενυδάτωσης ευνοείται από το σχηματισμό ενδο- και δια-μοριακών δεσμών μεταξύ των φυτικών ινών με τα μόρια της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης. Συνεπώς, ίσως στο γεγονός αυτό οφείλεται η μείωση της IAN καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.

Η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να μην επηρεάζει σχεδόν καθόλου την τιμή της IAN. Παρόλα αυτά, από τις 150 μέχρι τις 200 rpm παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση της IAN η οποία ίσως να οφείλεται στις διαφορετικές μοριακές μετατροπές των πλεγμάτων του αμύλου λόγω των διαφορετικών συνθηκών επεξεργασίας αφού αυξήθηκε η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

5.4.3 Ικανότητα διαλυτότητας σε νερό (ΙΔΝ)

Από τα διαγράμματα 5.5 έως 5.8 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η ΙΔΝ των προϊόντων εκβολής, μειώθηκε σημαντικά με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Επιπλέον, πολύ μικρή μείωση στην ΙΔΝ παρατηρείται με την αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου κυρίως όμως όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει το 7,5%. Αντίθετα, παρατηρείται αύξηση της ΙΔΝ όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών και σε μικρότερο βαθμό όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εκβολής. Γενικά οι τιμές της ΙΔΝ κυμάνθηκαν από 0,14 έως 0,33 g/g δείγματος.

Η ΙΔΝ συνδέεται με την ποσότητα των διαλυτών μορίων του τροφίμου, η οποία συνδέεται με τη δεξτρίνοποίηση. Κατά συνέπεια η ΙΔΝ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υποβάθμισης των μορίων και προσδιορίζει το βαθμό μετατροπής του αμύλου κατά τη διάρκεια της εκβολής (Colonna et al., 1989).

Πρόσφατα η ΙΔΝ έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την εκτίμηση του βαθμού ψησίματος (degree of cooking) για τρόφιμα εκβολής από φασόλια (Drago et al., 2007).

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ένταση της θερμικής κατεργασίας στον εκβολέα, η οποία με τη σειρά της είναι υπεύθυνη για την αύξηση της ΙΔΝ των δειγμάτων. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι παρόμοιες με τις μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στην ΙΔΝ προϊόντων εκβολής με βάση το άμυλο, επεξεργασμένα με εκβολέα μονού ή και διπλού κοχλία (Chauhan & Bains, 1988; Colonna et al., 1989; Ding et al., 2006; Gujska et al., 1990; Kadan et al., 2003). Επιπρόσθετα έχει βρεθεί ότι η δεξτρίνοποίηση του αμύλου είναι ο κύριος μηχανισμός μετατροπής του κατά τη διάρκεια της εκβολής του σε χαμηλή υγρασία. Κατά συνέπεια η μείωση της ΙΔΝ με την υγρασία τροφοδοσίας είναι αναμενόμενη και βρίσκεται σε συμφωνία με προηγούμενες αναφορές (Ding et al., 2005; Gujska et al., 1991a; Hernandez-Diaz et al., 2007).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκαλεί αύξηση της ΙΔΝ. Η αύξηση ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκαλεί μείωση στο μέσο χρόνο παραμονής και στην ειδική μηχανική ενέργεια (Liang et al., 2002). Αυτές οι παράμετροι του συστήματος έχουν μεγάλη επίδραση στη μοριακή αποδόμηση του αμύλου. Το τήγμα που υφίσταται εκβολή με υψηλή ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών υπόκειται σε μεγαλύτερες διαμητικές δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν μεγαλύτερη μοριακή υποβάθμιση. Συνεπώς, ίσως σε αυτό το λόγο οφείλεται και η αύξηση της ΙΔΝ με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

Τέλος, η αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας φαίνεται να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την τιμή της ΙΔΝ. Μόνο σε συγκεντρώσεις άνω του 7,5% παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση της ΙΔΝ. Η μείωση αυτή πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση του καρότου αυξάνεται και το περιεχόμενο του προϊόντος σε φυτικές ίνες. Κατά τη διάρκεια της εκβολής η ικανότητα διαλυτότητας των φυτικών ινών χάνεται λόγω της θερμικής επεξεργασίας του υλικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα δομικές μεταβολές που επιτρέπουν στις υδρόφιλες ομάδες, όπως $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$ και $-SH$, να σχηματίζουν συνδέσεις (γέφυρες) με το άμυλο (Fernandez-Gutierrez et al., 2004). Έτσι, η προσθήκη φυτικών ινών στα τρόφιμα εκβολής αναμένεται να μειώνει την ΙΔΝ.

6. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

6.1 Αντικείμενο και στόχοι

Τα προϊόντων εκβολής νέας γενιάς χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία σχημάτων, γεύσεων, υφής και χρωμάτων. Η εμφάνιση ενός προϊόντος είναι σημαντική παράμετρος για την ποιότητα ενός προϊόντος και αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του. Το χρώμα αποτελεί πολύ σημαντική οπτική ιδιότητα των τροφίμων που επηρεάζει σημαντικά την εμπορευσιμότητά τους. Κατά τη διάρκεια των διεργασιών εκβολής λαμβάνουν χώρα πολλές αντιδράσεις οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά το χρώμα του τελικού προϊόντος. Μεταξύ των αντιδράσεων αυτών οι πιο κοινές είναι αυτές που οφείλονται σε μη ενζυμική αμαύρωση (καστάνωση) όπως η αντίδραση Maillard, η καραμελοποίηση κλπ. και η υποβάθμιση των χρωστικών. Οι συνθήκες που εφαρμόζονται κατά την εκβολή τροφίμων (υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία) ευνοούν την αντίδραση μεταξύ των αμινομάδων και των αναγωγικών σακχάρων που οδηγεί στη δημιουργία συστατικών με χαρακτηριστικό χρώμα καθώς επίσης και στη μείωση της διαθέσιμης λυσίνης. Αν η μη ενζυμική αμαύρωση είναι πολύ έντονη μπορεί να παρουσιαστούν ανεπιθύμητα χρώματα, γεύσεις και οσμές. Επίσης, η αλλαγή του χρώματος κατά τη διεργασία εκβολής μπορεί να αποτελεί έναν οπτικό δείκτη εκτίμησης της έντασης της διεργασίας όσον αφορά τις χημικές αλλαγές ή την απώλεια θρεπτικών συστατικών του τροφίμου. (Ilo and Berghofer, 1999, Berset, 1989)

Η μέτρηση του χρώματος στις τροφές αποτελεί μια κρίσιμη, αντικειμενική, ποιοτική παράμετρο ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ακόλουθες εφαρμογές:

- Στον προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας των ακατέργαστων και επεξεργασμένων τροφίμων για χρήση στην τεκμηρίωση του ποιοτικού ελέγχου.
- Για τον έλεγχο της συμμόρφωσης της ποιότητας των τροφίμων στις υπάρχουσες προδιαγραφές.
- Για την ανάλυση των ποιοτικών αλλαγών τους ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας, της αποθήκευσης, ή και άλλων παραγόντων. (Giese, 2000)

Για την περιγραφή του χρώματος χρησιμοποιούνται πολλές διαφορετικές κλίμακες κατά τις οποίες κάθε χρώμα αναλύεται στις συντεταγμένες του. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα HunterL, a, bγια την περιγραφή του χρώματος των προϊόντων εκβολής.

Κύριος στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στο χρώμα των τελικών προϊόντων. Η μελέτη του χρώματος εξετάστηκε μέσω της μεταβολής των παραμέτρων χρώματος (L , a , b) της κλίμακας Hunter.

6.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

6.2.1 Χρώμα και η μέτρηση του

Το χρώμα είναι μια φυσική ιδιότητα των σωμάτων, η οποία γίνεται μεν κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, πλην όμως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε η επιστήμη της χρωματομετρίας (colorimetry) που ασχολείται με τον ποσοτικό προσδιορισμό και την φυσική περιγραφή της ανθρώπινης αντίληψης του χρώματος. Όταν το φως πέφτει σε ένα αντικείμενο διέρχεται από αυτό, ανακλάται, απορροφάται ή διαχέεται. Ανάλογα με τον τρόπο συμπεριφοράς τους ως προς την διάδοση του φωτός, τα σώματα, συνεπώς και τα τρόφιμα, μπορούν να ταξινομηθούν ως αδιαφανή, ημιδιαφανή, ή διαφανή. Επειδή το ανακλώμενο φως καθορίζει το χρώμα ενός υλικού, η εμφάνιση του υλικού αυτού μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την πηγή και την ένταση του φωτός, τη γωνία του παρατηρητή, το μέγεθος του σώματος και το υπόβαθρο (φόντο). Επομένως τρία είναι τα απαραίτητα στοιχεία για την αντίληψη του χρώματος.

✓ Φως

Το φως παρέχει την απαραίτητη φασματική ενέργεια για να γίνει ορατό το χρώμα. Κατά την παρατήρηση μια πηγή φωτός εκπέμπει ακτινοβολία με τη μορφή ορατού φωτός. Το ορατό αυτό φως αποτελεί ένα πολύ μικρό τμήμα του συνολικού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίο περιλαμβάνει τις ακτίνες Χ, το υπεριώδες και το υπέρυθρο φως και τα μικροκύματα. Το μήκος κύματος του ορατού από το ανθρώπινο μάτι φάσματος είναι από 400 μέχρι 700 nm. Η πηγή του φωτός είναι ένα από τα στοιχεία που πρέπει να ελεγχθεί ώστε να κριθεί το χρώμα με ακρίβεια. Γι' αυτό το λόγο η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (CIE, Commission Internationale del' Eclairage) κατασκεύασε πρότυπες πηγές φωτός για την αντικειμενική κρίση του χρώματος από παρατηρητές ή για τη μέτρησή του με όργανα. Η κάθε πηγή έχει διαφορετικό συνδυασμό μηκών κύματος ορατού φωτός. Η γραφική αναπαράσταση της σχετικής ενέργειας κάθε πηγής φωτός προς το κάθε μήκος κύματος είναι μια φασματική καμπύλη εκθετικής κατανομής της συγκεκριμένης πηγής.

✓ Αντικείμενο

Τα αντικείμενα από μόνα τους συμβάλουν στην αντίληψη του χρώματος και της εμφάνισης γενικότερα, μεταβάλλοντας την ακτίνα φωτός από τη φωτεινή πηγή. Οι χρωστικές ουσίες και οι βαφές απορροφούν κάποια συγκεκριμένα μήκη κύματος του φωτός και αντανακλούν ή μεταδίδουν τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα, ένα κόκκινο αντικείμενο αντανακλά το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στο κόκκινο και απορροφά τα υπόλοιπα. Καθοριστική επίσης είναι η διασπορά στην επιφάνεια του αντικειμένου που δημιουργεί τη γυαλάδα ή τη στιλπνότητα. Τα περισσότερα αντικείμενα μπορούν να ενταχθούν στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- Αδιαφανή μη μεταλλικά
- Αδιαφανή μεταλλικά
- Διαφανή

- Ημιδιαφανή

✓ **Παρατηρητής**

Με τον όρο «παρατηρητής» εννοείται το ανθρώπινο μάτι το οποίο δέχεται το φως και τον εγκέφαλο που δίνει την αντίληψη αυτών που βλέπει. Έχει αναπτυχθεί η θεωρία των αντιθέτων χρωμάτων η οποία θεωρεί ότι το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται το χρώμα στα πλαίσια των ακολούθων ζευγών αντιθέτων:

- Φωτεινό – σκοτεινό
- Κόκκινο – πράσινο
- Κίτρινο – μπλε

Σ' αυτή τη θεωρία βασίζονται και οι κλίμακες Hunter L,a,b και CIELAB που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Επειδή ο καθένας αντιλαμβάνεται το χρώμα υποκειμενικά, έχουν γίνει προσπάθειες να γίνει αντικειμενικά η κρίση του. Οι Wright και Guildέκαναν πειράματα με τη βοήθεια εθελοντών ώστε να καταγράψουν την υποκειμενική τους αίσθηση του χρώματος και να προκύψει ένας μέσος όρος, στην ουσία ένας αντικειμενικός παρατηρητής. Το 1931 εκδώσανε το «2° CIE Standard Observer» που βασίστηκε στην έρευνά τους. Στις μέρες μας πιο αντιπροσωπευτικό θεωρείται το «10° Standard Observer».

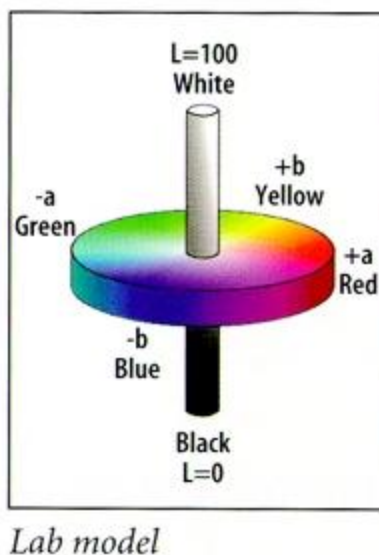
Για την περιγραφή του χρώματος έχουν δημιουργηθεί πολλές διαφορετικές κλίμακες. Από αυτές αναλυτικότερη αναφορά θα γίνει μόνο για τις κλίμακες CIELAB και Hunter L,a,b λόγω της ευρείας χρήσης τους στην αντικειμενική ποιοτική αξιολόγηση του χρώματος των τροφίμων.

Στις κλίμακες Hunter L,a,b και CIELAB που θα αναφερθούν αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο, μετρούνται ο βαθμός φωτεινότητας (L), το ποσό του κόκκινου ή του πράσινου ($\pm a$), και το ποσό του κίτρινου ή του μπλε ($\pm b$).

6.2.2 Η κλίμακα Hunter L, a, b

Η κλίμακα Hunter L,a,b εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50 και του '60. Εκείνη την περίοδο, πολλοί από τους επιστήμονες που σχετίζονταν με τη μέτρηση του χρώματος εργάζονταν πάνω στις ενιαίες κλίμακες χρώματος. Η κλίμακα XYZ χρησιμοποιούνταν, αλλά δεν έδινε καλές ενδείξεις χρώματος ενός δείγματος βασιζόμενη απλώς στους αριθμούς. Οι ενιαίες κλίμακες χρώματος που ερευνήθηκαν έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα στην κατεύθυνση αυτή. Υπήρξαν διάφορες εκδοχές της κλίμακας Hunter L,a,b πριν να εκδοθούν οι σημερινοί τύποι το 1966. Η κλίμακα Hunter L,a,b είναι πιο ομοιόμορφη οπτικά από την κλίμακα XYZ. Σε μια ομοιόμορφη κλίμακα χρώματος, οι διαφορές μεταξύ των σημείων στην κλίμακα του χρώματος αντιστοιχούν σε οπτικές διαφορές μεταξύ των χρωμάτων που αντιστοιχούν. Το

διάστημα του χρώματος της κλίμακας Hunter L, a, b οργανώνεται στη μορφή που εμφανίζεται στο Σχήμα 6.1. Το μέγιστο L είναι 100 που δείχνει το άσπρο και το ελάχιστο είναι 0 που δείχνει το μαύρο χρώμα. Οι άξονες a και b δεν έχουν κανένα συγκεκριμένο αριθμητικό όριο. Το θετικό a είναι κόκκινο και το αρνητικό a είναι πράσινο. Αντίστοιχα, το θετικό b είναι κίτρινο και το αρνητικό είναι μπλε. Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται το διάστημα του χρώματος της κλίμακας Hunter L, a, b .



Σχήμα 6.1 Κλίμακα Hunter L, a, b

Οι τιμές ΔL , Δa και Δb που συνδέονται με αυτήν την κλίμακα χρώματος προσδιορίζουν πόσο διαφέρει το χρώμα ενός δείγματος από ένα πρότυπο δείγμα. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται συχνά για τον ποιοτικό έλεγχο δειγμάτων όπου συνήθως τίθεται και κάποιο διάστημα ανοχής. Τιμές που είναι εκτός αυτού του διαστήματος δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του προτύπου και του δείγματος. Μπορεί επίσης να υπολογιστεί η συνολική διαφορά χρώματος, ΔE . Στην τιμή ΔE περιλαμβάνονται οι διαφορές των L , a , και b μεταξύ του δείγματος και του προτύπου. Στις περιπτώσεις που η τιμή του ΔE βρίσκεται εκτός του διαστήματος ανοχής, δεν προσδιορίζει ποια παράμετρος ευθύνεται γι' αυτό. Μπορεί σε μερικές περιπτώσεις τα ΔL , Δa ή Δb να είναι εκτός του διαστήματος ανοχής αλλά το ΔE να είναι εντός του διαστήματος.

Η κλίμακα Hunter L, a, b μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε αντικείμενο του οποίου το χρώμα μπορεί να μετρηθεί. Παρόλα αυτά, δεν χρησιμοποιείται σήμερα τόσο συχνά όσο στο παρελθόν επειδή η κλίμακα CIE $L^*a^*b^*$ που εκδόθηκε 1976, έχει κερδίσει δημοτικότητα.

Οι τιμές των L , a και b της κλίμακας Hunter και των ΔL , Δa και Δb δίδονται από τις σχέσεις:

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_n}}$$

$$a = K_a \left(\frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right)$$

$$b = K_b \left(\frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right)$$

Οπού:

X , Y και Z είναι οι τιμές που δίνονται από την κλίμακα CIE XYZ και υπολογίζονται με βάση πρότυπες συναρτήσεις οπτικού παρατηρητή 2 ή 10 μοιρών .

X_n , Y_n και Z_n είναι οι αντίστοιχες τιμές για την πηγή φωτός ($Y_n = 100.00$, ενώ τα X_n και Z_n βρίσκονται από τους πίνακες Π-1 και Π-2 του παραρτήματος).

K_a και K_b είναι χρωματικοί συντελεστές για την πηγή φωτός και δίνονται από τους πίνακες Π-1 και Π-2 και του παραρτήματος).

$$\Delta L = L_{\text{δείγματος}} - L_{\text{πρότυπου}}$$

+ ΔL σημαίνει ότι το δείγμα είναι φωτεινότερο από το πρότυπο

- ΔL σημαίνει ότι το δείγμα είναι σκουρότερο από το πρότυπο

$$\Delta a = a_{\text{δείγματος}} - a_{\text{πρότυπου}}$$

+ Δa σημαίνει ότι το δείγμα είναι πιο κόκκινο από το πρότυπο

- Δa σημαίνει ότι το δείγμα είναι πιο πράσινο από το πρότυπο

$$\Delta b = b_{\text{δείγματος}} - b_{\text{πρότυπου}}$$

+ Δb σημαίνει ότι το δείγμα είναι πιο κίτρινο από το πρότυπο

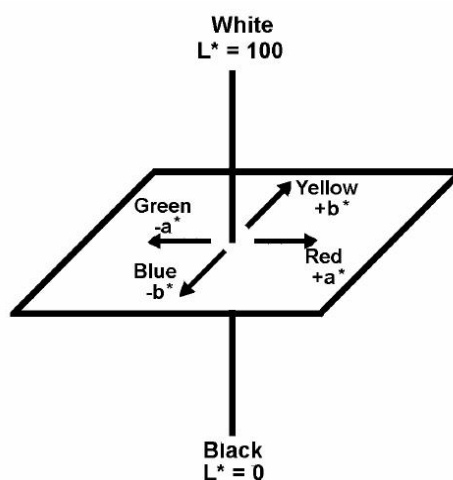
- Δb σημαίνει ότι το δείγμα είναι πιο μπλε από το πρότυπο

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

(Applications Note, Hurperlab, Vol. 8, No. 9, June, 2008)

6.2.3 Η κλίμακα CIELAB

Η κλίμακα CIE $L^* a^* b^*$ ή CIELAB προτάθηκε από τη CIE (Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού) το 1976. Αυτό που προστίθεται σε σχέση με την κλίμακα Hunter L, a, b , είναι οι τιμές των παραμέτρων ΔC^* και ΔH^* εκ των οποίων η πρώτη είναι η διαφορά του χρώματος μεταξύ του δείγματος και του προτύπου, όπως περιγράφεται σε ένα σύστημα πολικών συντεταγμένων και η δεύτερη είναι η διαφορά της απόχρωσης μεταξύ του δείγματος και του προτύπου που επίσης περιγράφεται σε ένα σύστημα πολικών συντεταγμένων. Επιπλέον, οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των L^* , a^* , b^* είναι διαφορετικές. Οι συντεταγμένες L^* , a^* , b^* εμφανίζονται στο παρακάτω Σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2 Κλίμακα CIELAB

Εξισώσεις της κλίμακας CIELAB:

Εάν X/X_n , Y/Y_n , και Z/Z_n είναι μεγαλύτερα από 0.008856, τότε:

$$L^* = 116 \sqrt[3]{Y/Y_n} - 16$$

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{X/X_n} - \sqrt[3]{Y/Y_n} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{Y/Y_n} - \sqrt[3]{Z/Z_n} \right)$$

Εάν κάποιο από τα X/X_n , Y/Y_n , και Z/Z_n είναι μικρότερο ή ίσο από 0.008856, τότε:

$$L^* = 909,3(Y/Y_n)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

Οπού:

X , Y και Z είναι οι τιμές που δίνονται από την κλίμακα CIE XYZ και υπολογίζονται με βάση πρότυπες συναρτήσεις οπτικού παρατηρητή 2 ή 10 μοιρών .

X_n , Y_n και Z_n είναι οι αντίστοιχες τιμές για την πηγή φωτός ($Y_n = 100.00$, ενώ τα X_n και Z_n βρίσκονται από τους πίνακες Π-3 και Π-4 του παραρτήματος).

και

$$f(X/X_n) = \sqrt[3]{X/X_n} \quad \text{όταν } X/X_n > 0.008856$$

$$f(X/X_n) = 7.87 \left(\frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116} \quad \text{όταν } X/X_n < 0.008856$$

$$f(Y/Y_n) = \sqrt[3]{Y/Y_n} \quad \text{όταν } Y/Y_n > 0.008856$$

$$f(Y/Y_n) = 7.87 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116} \quad \text{όταν } Y/Y_n < 0.008856$$

$$f(Z/Z_n) = \sqrt[3]{Z/Z_n} \quad \text{όταν } Z/Z_n > 0.008856$$

$$f(Z/Z_n) = 7.87 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116} \quad \text{όταν } Z/Z_n < 0.008856$$

Όμοια με τις αντίστοιχες παραμέτρους της κλίμακας Hunter, οι παράμετροι ΔL^* , Δa^* και Δb^* υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\Delta L^* = L_{\text{δείγματος}} - L_{\text{προτύπου}}$$

$$\Delta a^* = a_{\text{δείγματος}} - a_{\text{προτύπου}}$$

$$\Delta b^* = b_{\text{δείγματος}} - b_{\text{προτύπου}}$$

Οι τιμές των ΔE^* και ΔC^* προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

$$\Delta C^* = C^*_{\text{δείγματος}} - C^*_{\text{προτύπου}}$$

Όπου:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\Delta H^* = \sqrt{\Delta E^{*2} + \Delta L^{*2} + \Delta C^{*2}}$$

(Applications Note, Hurperlab, Vol. 8, No. 7, June, 2008)

6.2.4 Σύγκριση των Hunter L, a, b και CIELAB

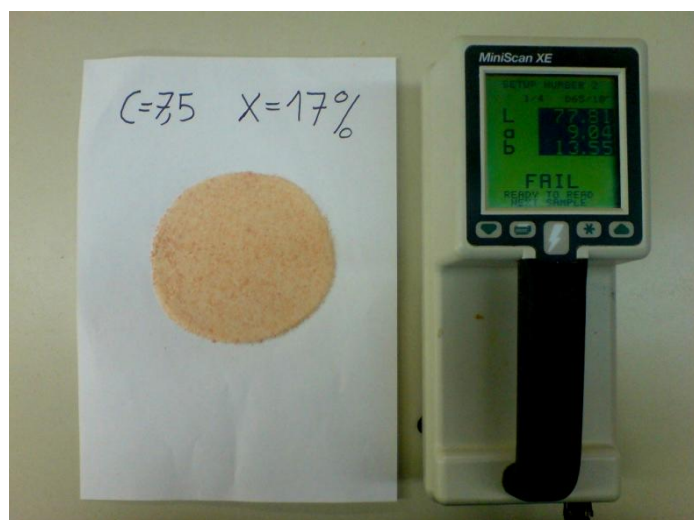
Τόσο στην Hunter L, a, b όσο και στη CIELAB το αποτέλεσμα που προκύπτει μπορεί να αποδοθεί οπτικά δηλαδή οι τρεις τιμές μπορούν να γίνουν εύκολα κατανοητές και να μεταφραστούν σε χρώμα. Οι εξισώσεις όμως για την κλίμακα Hunter L, a, b περιλαμβάνουν τετραγωνικές ρίζες των τιμών της μεθόδου CIE XYZ, ενώ της CIELAB χρησιμοποιούν κυβικές ρίζες των XYZ.

Η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού πρότεινε την CIELAB το 1976 ως βελτίωση της τελικής έκδοσης της Hunter L, a, b που δημοσιεύθηκε το 1966, αλλά όσον αφορά στην ακρίβεια και την περιγραφική αξία, ούτε η πρώτη ούτε η δεύτερη ξεχωρίζει. Καμία από τις δύο κλίμακες δεν είναι εντελώς ομοιόμορφη παρότι η CIELAB ήταν σχεδιασμένη ακριβώς για το σκοπό αυτό. Εν τούτοις η κλίμακα CIELAB δίνει γενικά καλύτερη προσέγγιση στην οπτική αξιολόγηση της διαφοράς χρώματος για τα πολύ σκοτεινά χρώματα, επειδή οι εξισώσεις της είναι κυβικές ρίζες. Γενικά χρησιμοποιείται η μέθοδος CIELAB, εκτός από τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει ιστορικό μετρήσεων με την Hunter L, a, b ή όπου αυτή ζητείται.

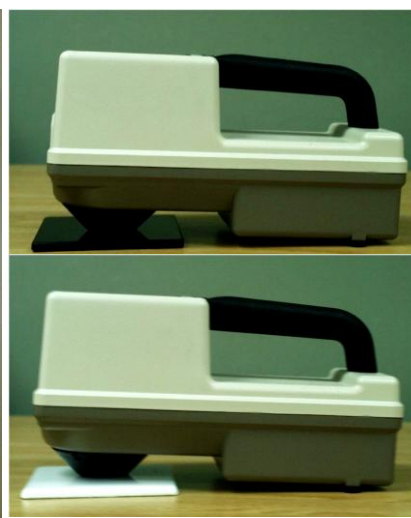
(Applications Note, Hurperlab, Vol. 13, No. 2, June, 2008)

6.3 Πειραματική διαδικασία μέτρησης οπτικών ιδιοτήτων

Για τη μέτρηση του χρώματος των προϊόντων εκβολής αλλά και των πρώτων υλών χρησιμοποιήθηκε το φασματοχρωματόμετρο Miniscan XE Plus της εταιρίας Hunterlab (Εικόνα 6.1). Η προς μέτρηση σκόνη δείγματος πριν την εκτέλεση της μέτρησης αναδευόταν και έπειτα μορφοποιούνταν ώστε να αποκτήσει επίπεδη επιφάνεια και όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιομορφία. Πριν την έναρξη των μετρήσεων το φασματοχρωματόμετρο βαθμονομείται με τη χρήση δύο πλακών, μιας μαύρης και μιας άσπρης που παρέχονται από τον κατασκευαστή του οργάνου. Η μαύρη πλάκα βαθμονομεί το όργανο δίνοντας στο μαύρο την τιμή 0 ενώ η άσπρη πλάκα στο άσπρο την τιμή 100 (Εικόνα 6.2).



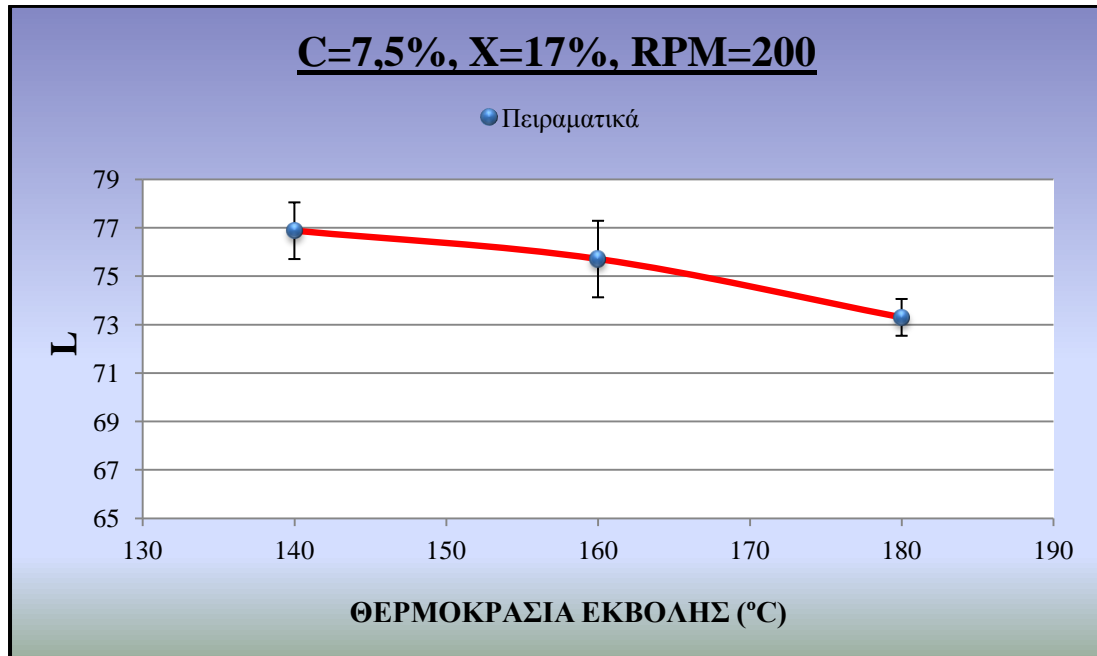
Εικόνα 6.1 Κατά τη διάρκεια μέτρησης ενός δείγματος.



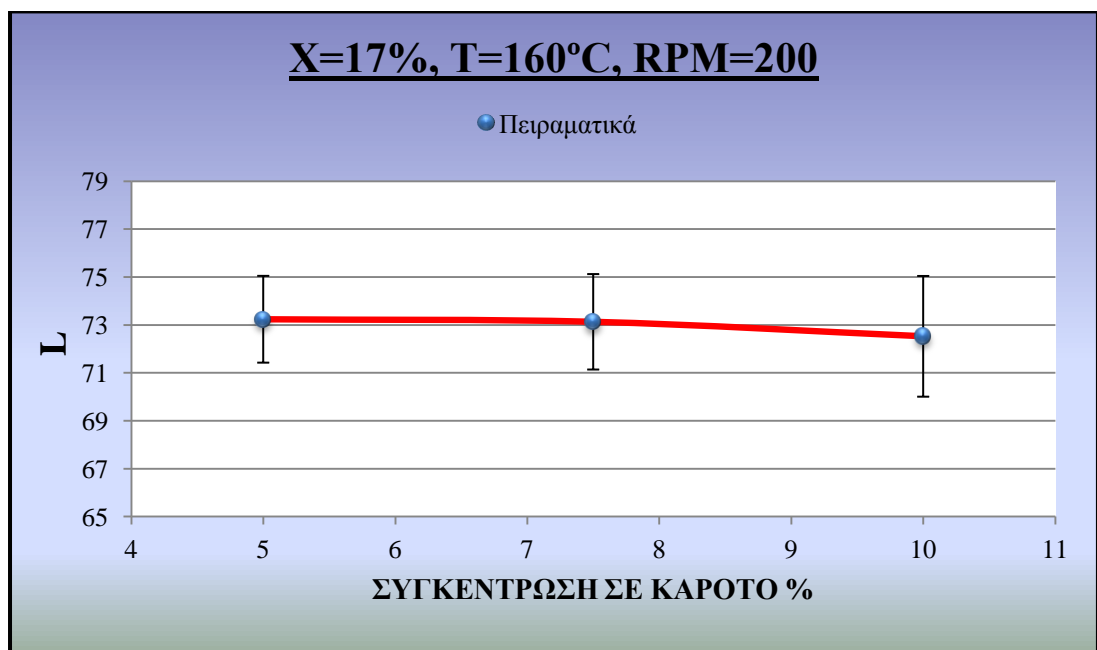
Εικόνα 6.2 Βαθμονόμηση οργάνου με χρήση μαύρης (επάνω) και άσπρης (κάτω) πλάκας.

6.4 Αποτελέσματα

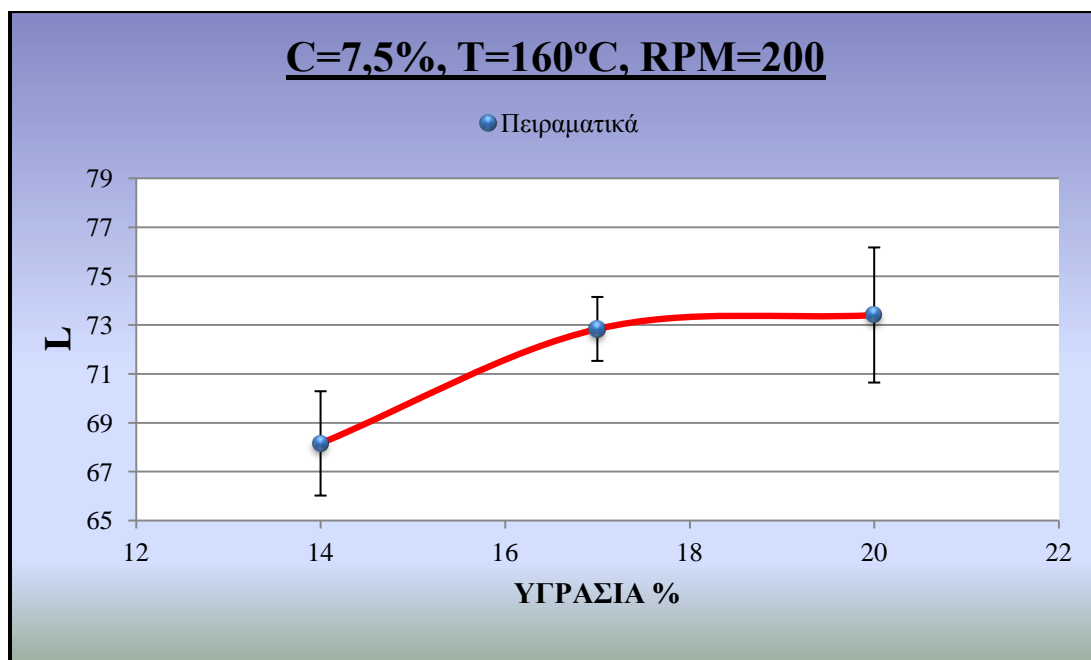
6.4.1 Μεταβολή της παραμέτρου L



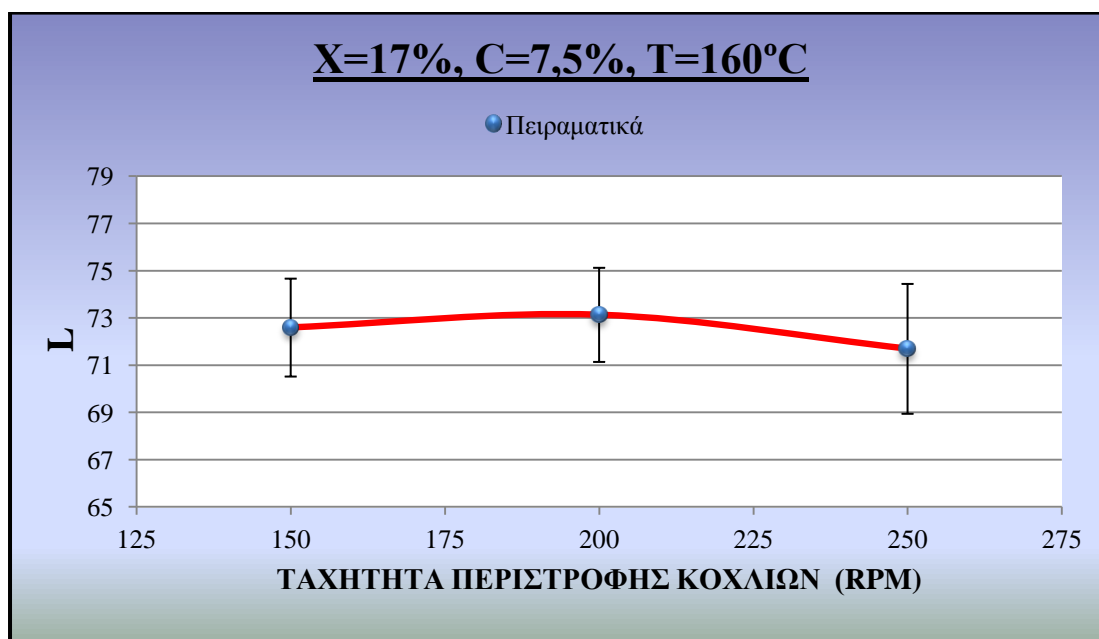
Διάγραμμα 6.1 Παράμετρος L συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 6.2 Παράμετρος L συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.

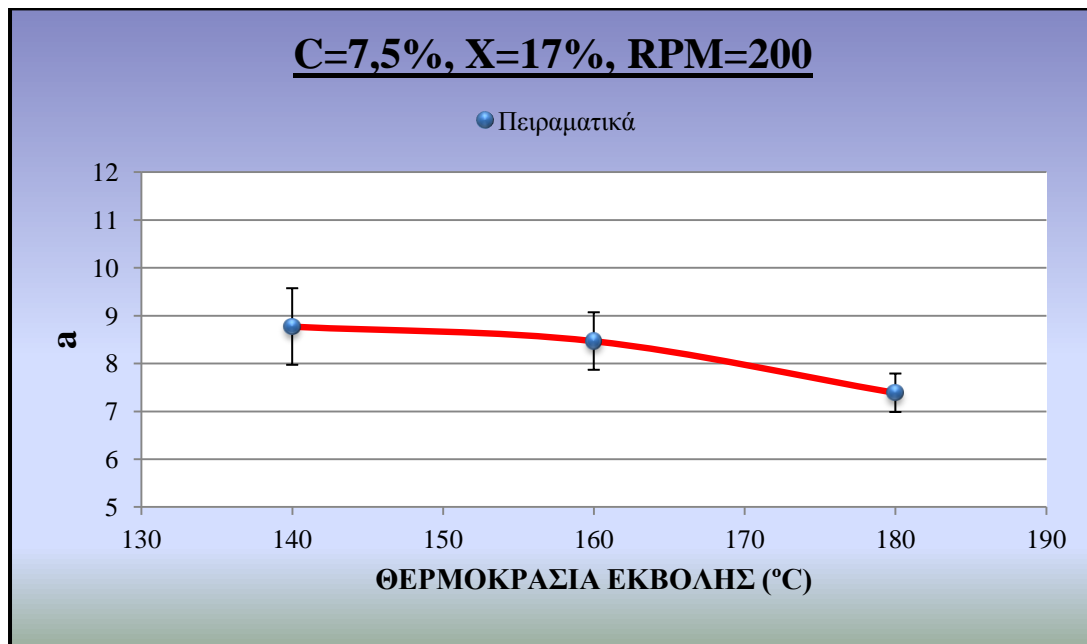


Διάγραμμα 6.3 Παράμετρος L συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

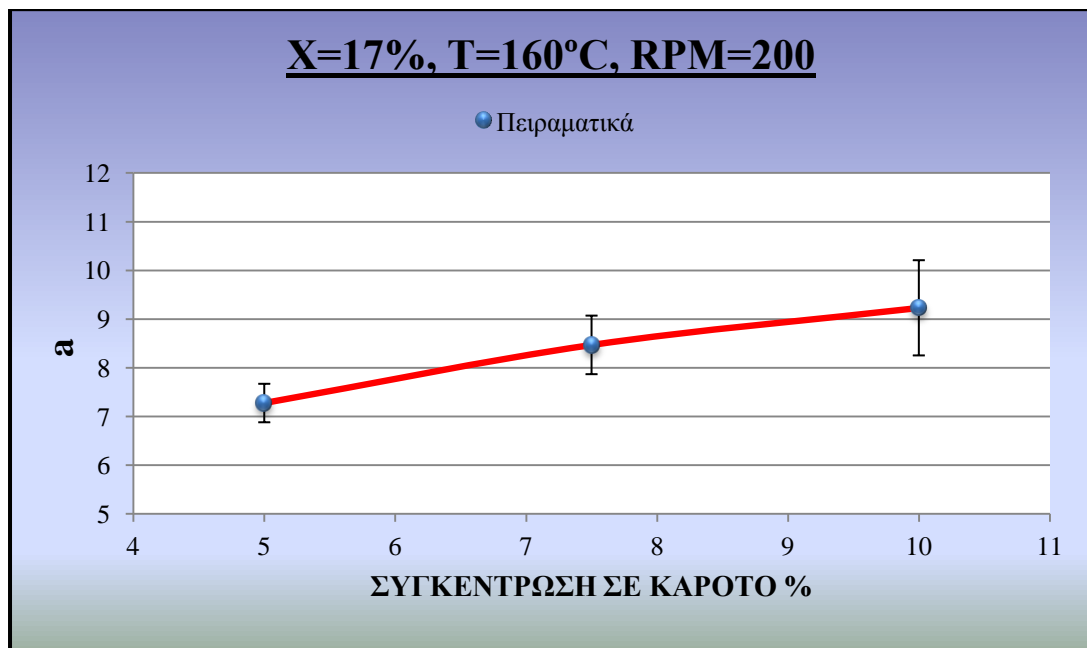


Διάγραμμα 6.4 Παράμετρος L συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

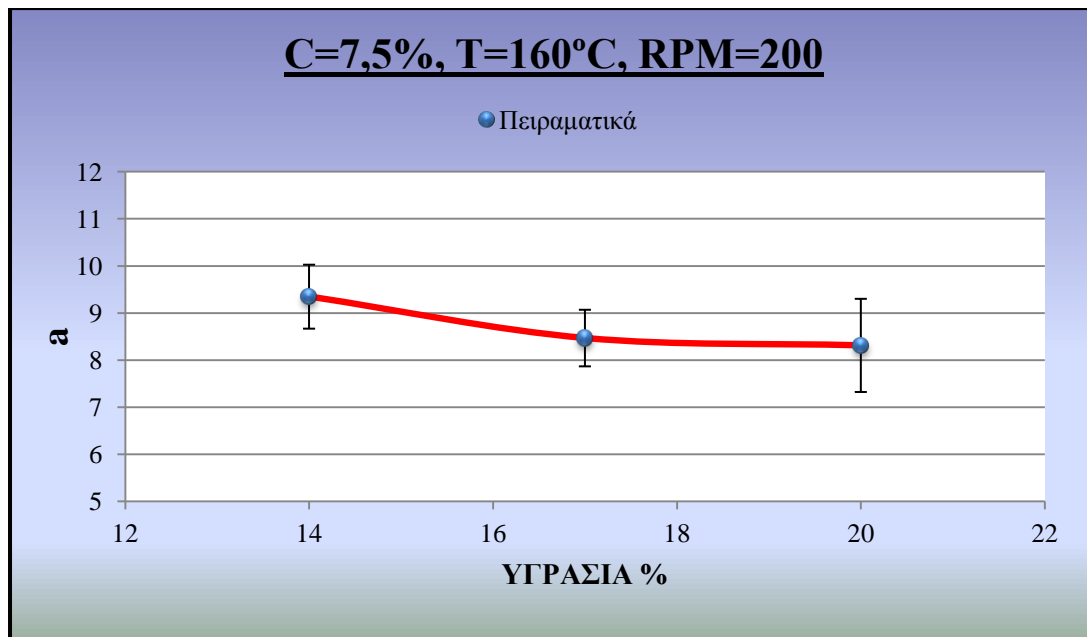
6.4.2 Μεταβολή της παραμέτρου a



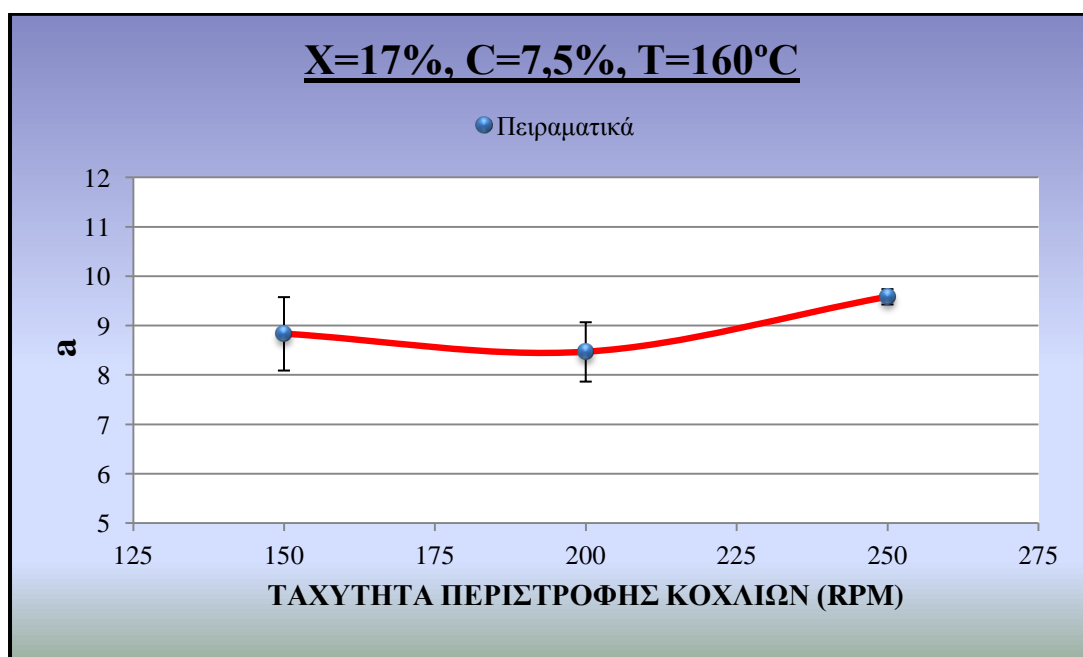
Διάγραμμα 6.5 Παράμετρος a συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 6.6 Παράμετρος a συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.

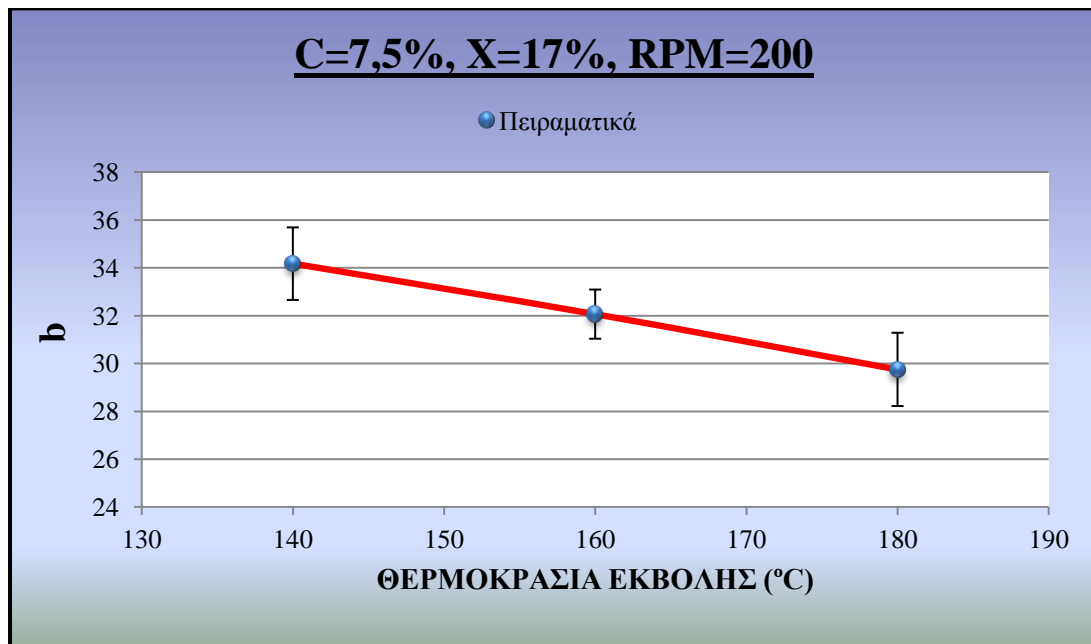


Διάγραμμα 6.7 Παράμετρος a συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

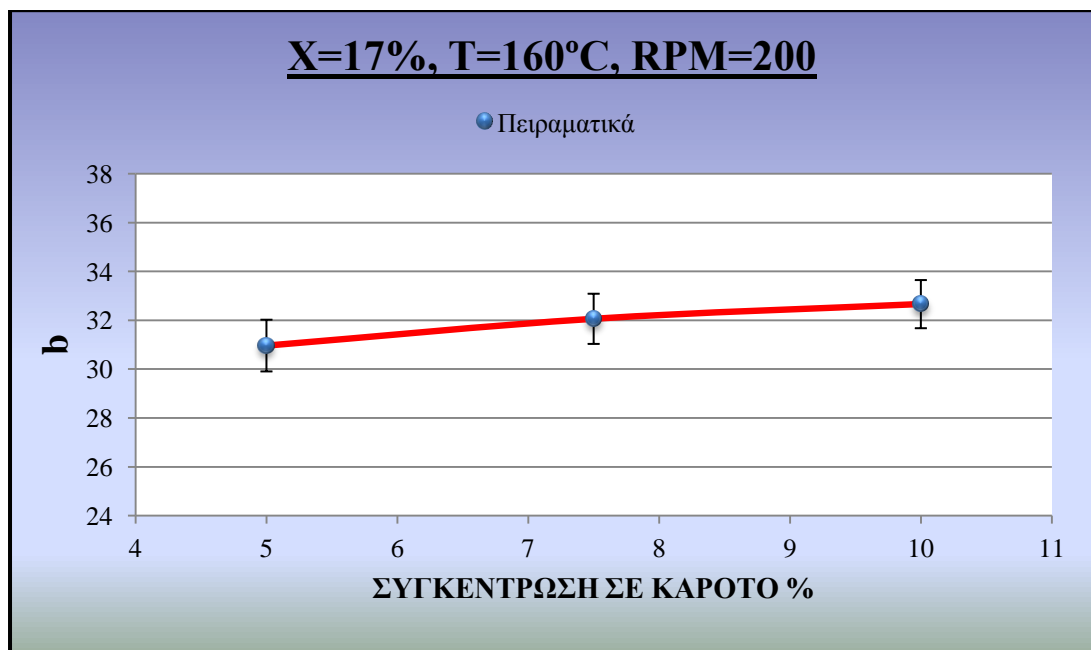


Διάγραμμα 6.8 Παράμετρος a συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

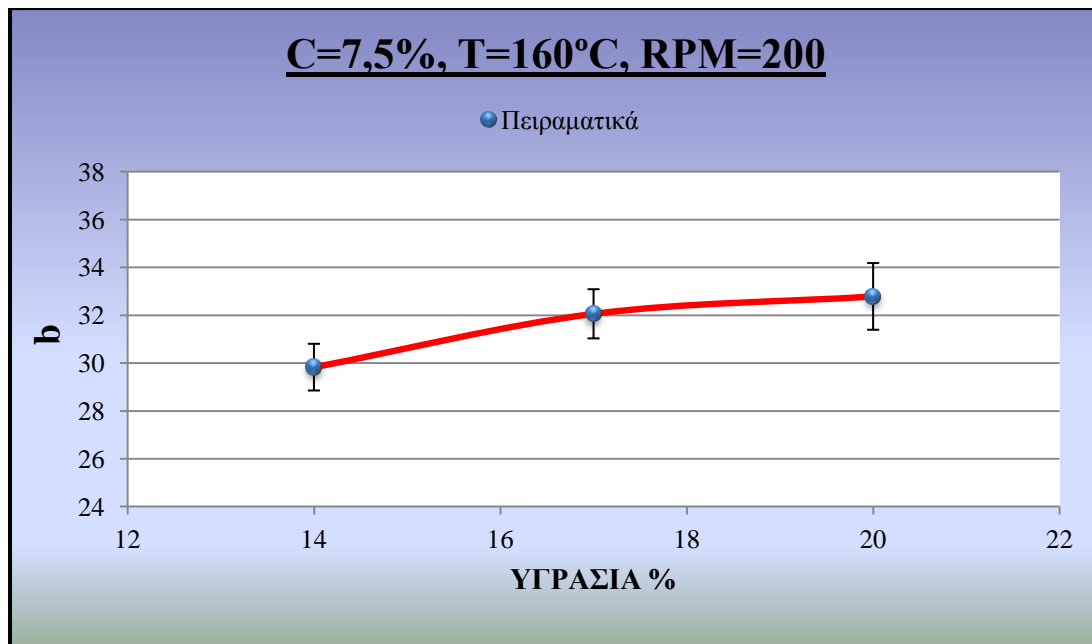
6.4.3 Μεταβολή της παραμέτρου b



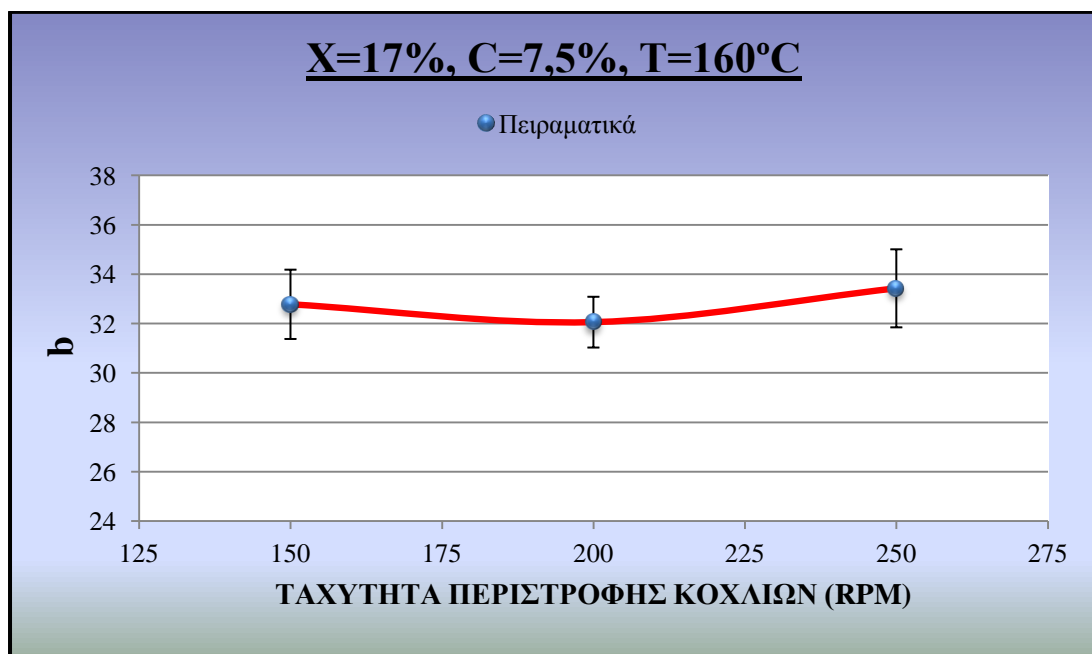
Διάγραμμα 6.9 Παράμετρος b συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 6.10 Παράμετρος b συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.

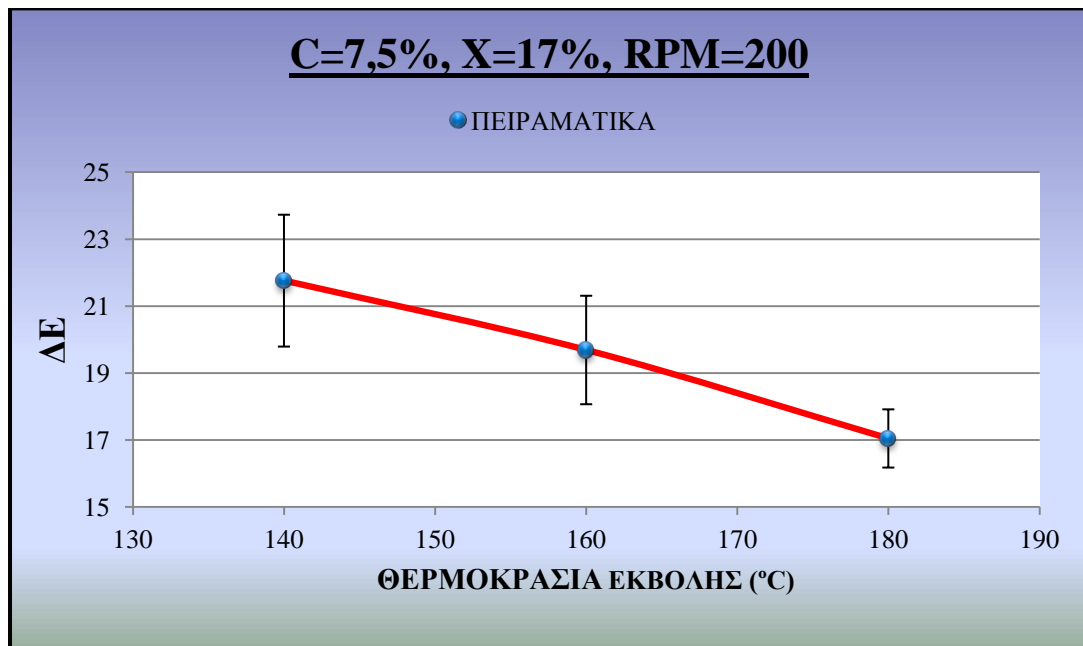


Διάγραμμα 6.11 Παράμετρος b συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

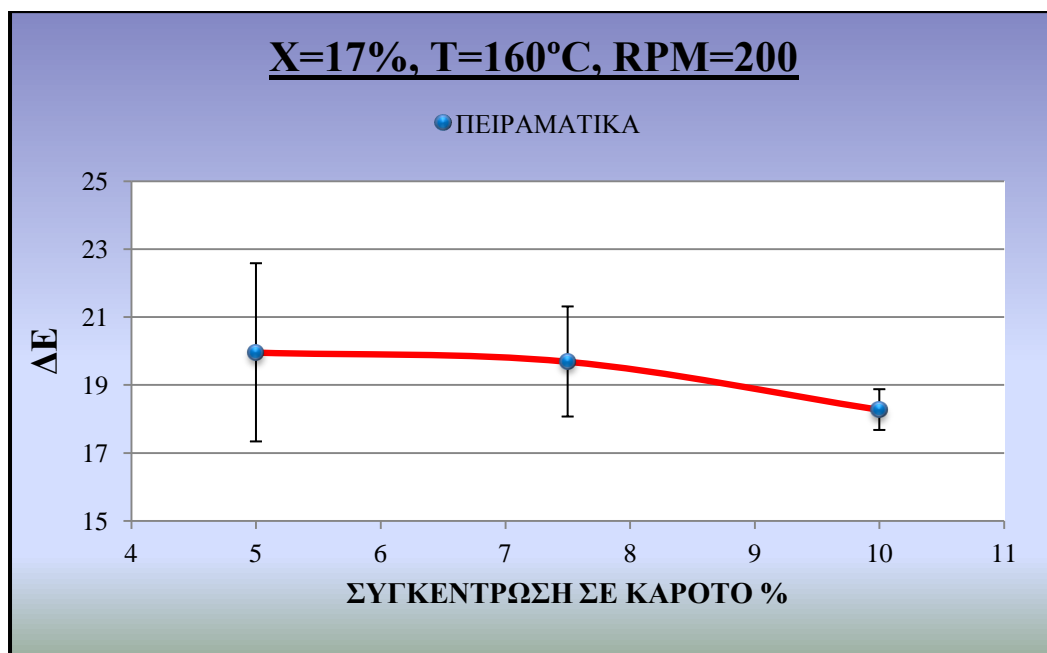


Διάγραμμα 6.12 Παράμετρος b συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

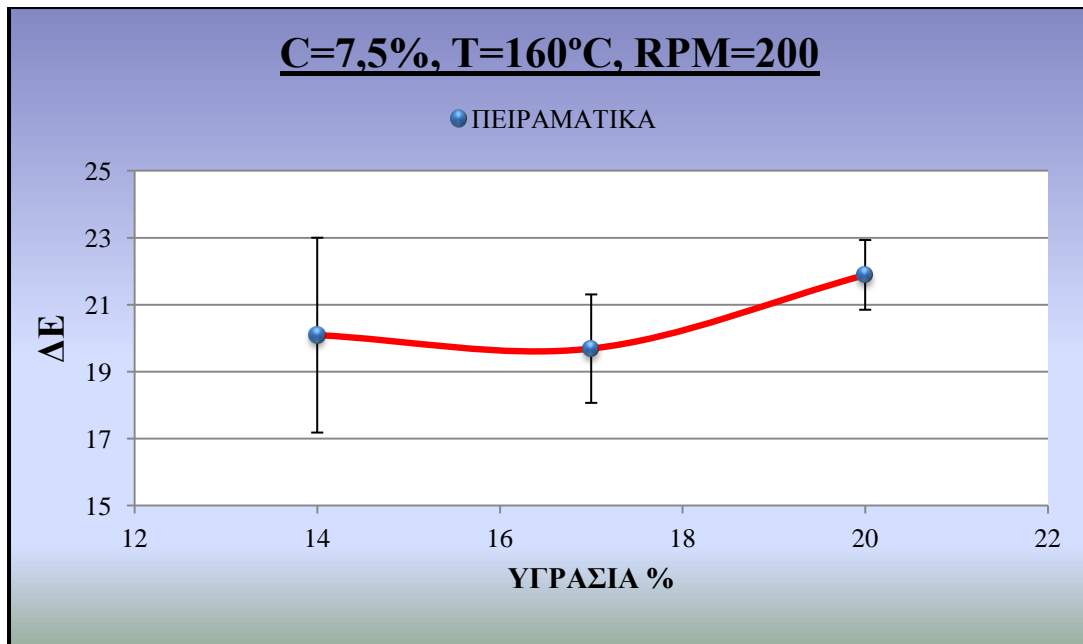
6.4.4 Μεταβολή της παραμέτρου ΔE



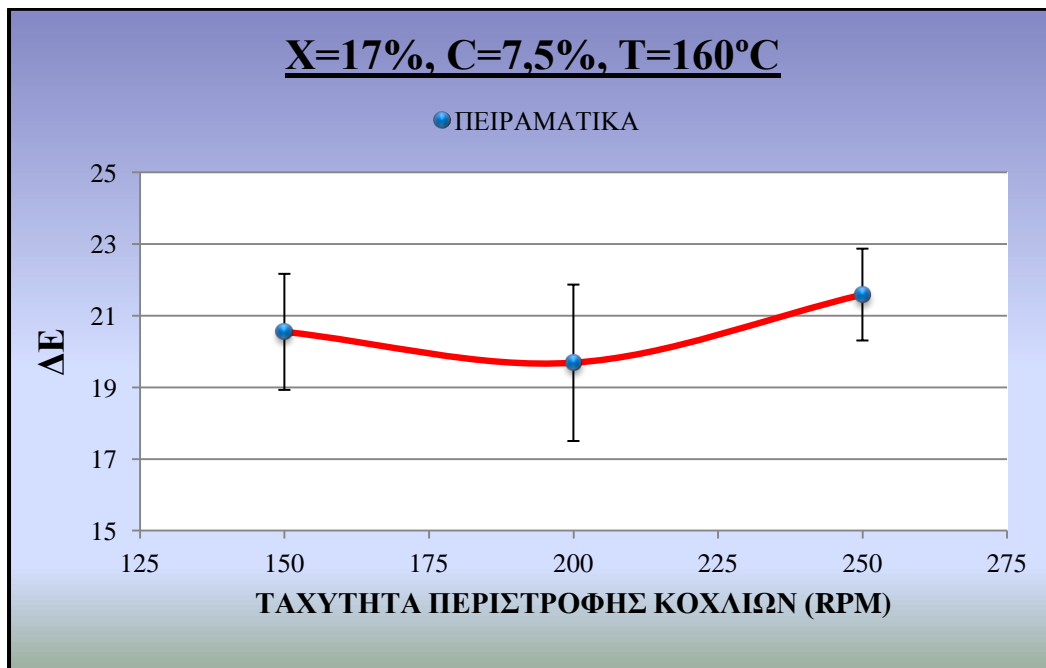
Διάγραμμα 6.13 Παράμετρος ΔE συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 6.14 Παράμετρος ΔE συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 6.15 Παράμετρος ΔΕ συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 6.16 Παράμετρος ΔΕ συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

6.5 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω πειραματικά αποτελέσματα προκύπτουν γενικά τα εξής συμπεράσματα:

α) Το L επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία εκβολής και την υγρασία της πρώτης ύλης. Η συγκέντρωση του καρότου στην τροφοδοσία καθώς και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να μην έχουν ιδιαίτερη επίπτωση στην «λαμπρότητα» L του προϊόντος.

β) Η παράμετρος a επηρεάζεται κυρίως από τη συγκέντρωση του καρότου στην τροφοδοσία. Παράλληλα, στην παράμετρο a μικρή επίδραση έχουν και οι υπόλοιποι παράγοντες (θερμοκρασία εκβολής, υγρασία τροφοδοσίας, ταχύτητα περιστροφής κοχλιών). Οι παράμετροι L και a φαίνεται να μεταβάλλονται με αντίστροφο τρόπο.

γ) Η παράμετρος b επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία εκβολής καθώς επίσης και από την υγρασία της τροφοδοσίας αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η συγκέντρωση του καρότου στην τροφοδοσία καθώς και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να μην έχουν και τόσο σημαντική επίπτωση στην παράμετρο b .

δ) Τέλος, η παράμετρος ΔE επηρεάζεται από όλους τους παράγοντες αλλά την μεγαλύτερη επίδραση φαίνεται να έχει η θερμοκρασία εκβολής.

Πιο συγκεκριμένα συμπεράσματα για την επίδραση των μεταβολών που έγιναν στις συνθήκες εκβολής, παρουσιάζονται παρακάτω.

6.5.1 Επίδραση της θερμοκρασίας εκβολής στις παραμέτρους L , a , b και ΔE

Από το Διάγραμμα 6.1 προκύπτει πως με την αύξηση της θερμοκρασίας και σταθερές τις υπόλοιπες συνθήκες, το L μειώνεται, δηλαδή το προϊόν γίνεται πιο σκούρο. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται σε αντιδράσεις καστανώσης και συγκεκριμένα στην αντίδραση Maillard, η οποία γίνεται όλο και πιο έντονη με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας η παράμετρος a μειώνεται (Διάγραμμα 6.5) με αποτέλεσμα το χρώμα του προϊόντος να αποκτά λιγότερο κόκκινο τόνο.

Επιπλέον, η παράμετρος b αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Διάγραμμα 6.9) και γι αυτό το προϊόν αποκτά πιο έντονο κίτρινο χρωματικό τόνο.

Η μεταβολές των παραμέτρων a και b πιθανότατα να συμβαίνουν λόγω δύο διαφορετικών αντιδράσεων: του μη ενζυμικού μαυρίσματος και της καταστροφής των χρωστικών του καρότου λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας.

Τέλος, η παράμετρος ΔE μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας (Διάγραμμα 6.13).

6.5.2 Επίδραση της υγρασίας τροφοδοσίας στις παραμέτρους L , a , b και ΔE

Κατά την εκβολή προϊόντων με υψηλότερη υγρασίας τροφοδοσίας παρατηρείται αύξηση του L (Διάγραμμα 6.3) και μείωση του a (Διάγραμμα 6.7). Λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε υγρασία, το προϊόν δεν προλαβαίνει να ψηθεί το ίδιο καλά, αφού η θερμοκρασία του εκβολέα και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών δεν μεταβάλλονται. Λιγότερη λοιπόν έψηση του προϊόντος σημαίνει πιο ανοιχτό χρώμα άρα υψηλότερο L και χαμηλότερο a .

Στην παράμετρο b παρατηρείται αύξηση της τιμής της όσο αυξάνεται η υγρασία της τροφοδοσίας (Διάγραμμα 6.11). Η πιο πιθανή εξήγηση για την επιρροή της περιεχόμενης υγρασίας στο χρώμα του προϊόντος είναι ότι η υγρασία επηρεάζει τον διασκορπισμό της μηχανικής ενέργειας. Το νερό δρα ως πλαστικοποιητής στο υλικό πλούσιο σε άμυλο και μειώνει το ιξώδες του τήγματος έτσι ώστε να διασκορπίζεται λιγότερη μηχανική ενέργεια στον εκβολέα σε υψηλή υγρασία. Το γεγονός αυτό μπορεί να επηρεάσει το προφίλ κατανομής της θερμοκρασίας του υλικού κατά μήκος του εκβολέα και συνεπώς και τις παραμέτρους του χρώματος.

Τέλος, η παράμετρος ΔE φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας (Διάγραμμα 6.15)

6.5.3 Επίδραση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών στις παραμέτρους L , a , b και ΔE

Γενικά η ταχύτητα της περιστροφής των κοχλιών δεν φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα το χρώμα του προϊόντος. Η παράμετρος L παρουσιάζει μια μικρή μείωση σε υψηλότερες στροφές (Διάγραμμα 6.4).

Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, αυξάνεται και η δύναμη που ασκείται στο εσωτερικό του εκβολέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς το προϊόν ψήνεται περισσότερο άρα αποκτά και σκουρότερο χρώμα. Παράλληλα όμως, αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών μειώνεται και ο χρόνος παραμονής του υλικού μέσα στον εκβολέα συνεπώς το προϊόν ψήνεται λιγότερο άρα το χρώμα αναμένεται να είναι πιο ανοικτό. Αυτή η αλληλοαναιρέση του ενός γεγονότος από το άλλο έχει σαν αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της τιμής του L στις μεσαίες στροφές. Στις υψηλότερες στροφές η επίδραση του ενός γεγονότος είναι πιο έντονη και παρατηρείται τελικά αυτή η μικρή μείωση του παράγοντα L οδηγώντας έτσι σε σκουρότερο προϊόν.

Η μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών δεν φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα τις παραμέτρους a (Διάγραμμα 6.8) και b (Διάγραμμα 6.12). Γενικά φαίνεται να υπάρχει μια ελάχιστη πτωτική τάση από τις χαμηλές στις μεσαίες στροφές και στη συνέχεια μια μικρή αυξητική τάση από τις μεσαίες μέχρι τις υψηλότερες στροφές των κοχλιών.

Τέλος, όσον αφορά στην παράμετρο ΔE , αυτή με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, αρχικά παρουσιάζει πτωτική τάση μέχρι την μεσαία ταχύτητα περιστροφής ενώ στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι την υψηλότερη ταχύτητα (Διάγραμμα 6.16). Παρουσιάζει δηλαδή ένα τοπικό ελάχιστο στις μεσαίες στροφές.

6.5.4 Επίδραση της συγκέντρωσης του καρότου στην τροφοδοσία στις παραμέτρους L , a , b και ΔE

Η παράμετρος L φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της σύστασης της τροφοδοσίας σε καρότο (Διάγραμμα 6.2).

Η παράμετρος a που δείχνει την ερυθρότητα αυξάνεται σημαντικά όσο αυξάνεται και η αναλογία του καρότου στο μείγμα τροφοδοσίας (Διάγραμμα 6.6) αποτέλεσμα αναμενόμενο λόγω του πορτοκαλί χρώματος του καρότου.

Η παράμετρος b παρουσιάζει μικρή αύξηση με την αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου (Διάγραμμα 6.10) γεγονός που επίσης μπορεί να αποδοθεί στο χρώμα του καρότου αφού με την αύξηση της περιεκτικότητάς του το προϊόν γίνεται πιο πορτοκαλί συνεπώς αυξάνονται τόσο οι τόνοι του κίτρινου όσο και του κόκκινου.

Τέλος, η παράμετρος ΔE αρχικά φαίνεται να μην επηρεάζεται από την αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου αλλά όταν η προσθήκη καρότου ξεπεράσει το 7,5%, τότε η τιμή της ΔE ακολουθεί πτωτική τάση (Διάγραμμα 6.14).

7. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

7.1 Αντικείμενο και στόχοι

Τα περισσότερα τρόφιμα υπόκεινται σε αλλαγές της θερμοκρασίας τους κατά την παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση, προετοιμασία και κατανάλωσή τους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει λόγω της παστερίωσης, της ψύξης ή κατάψυξης, το ψήσιμό τους κτλ. Οι αλλαγές αυτές της θερμοκρασίας προκαλούν μεταβολές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των συστατικών των τροφίμων, οι οποίες επηρεάζουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, όπως η γεύση, η εμφάνιση, η υφή και η σταθερότητά του. Η εκβολή τροφίμων, λόγω των συνθηκών και των παραγόντων που επιδρούν κατά τη διεργασία, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και παραγωγή προϊόντων χαμηλής υγρασίας, τα οποία σπάνια βρίσκονται σε κάποιο στάδιο ισορροπίας φάσεων και είναι μερικώς ή πλήρως άμορφα. Έτσι για τη συντήρηση των τροφίμων εκβολής, η υαλώδης μετάπτωση είναι μεγάλης σπουδαιότητας, γιατί επηρεάζει τη δομή και κατ' επέκταση την υφή των προϊόντων, καθώς επίσης και το ρυθμό των αντιδράσεων που ελέγχονται από τη διάχυση των αντιδρώντων. Επίσης, κατά τη διάρκεια της εκβολής λόγω των φυσικοχημικών μεταβολών που συμβαίνουν κατά το ψήσιμο, λαμβάνει χώρα σχηματισμός διαφόρων συμπλόκων μεταξύ των πολυμερών του τροφίμου.

Η υαλώδης μετάπτωση επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του τροφίμου, το μοριακό βάρος των συστατικών, την ευκαμψία των μακρομορίων και το περιεχόμενο νερό. Το νερό έχει τη μεγαλύτερη επίδραση από όλους τους παραπάνω παράγοντες, αφού ασκεί πλαστικοποιητική δράση. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) μειώνεται δραματικά όσο αυξάνεται η υγρασία του προϊόντος, και μπορεί να λάβει τιμές πολύ χαμηλότερες από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η συνηθέστερη τεχνική με την οποία προσδιορίζεται η υαλώδης μετάπτωση, αλλά και οι υπόλοιπες μεταπτώσεις φάσεων ενός τροφίμου, είναι η Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC).



Εικόνα 7.1 Θερμιδόμετρο διαφορικής σάρωσης.

Επειδή ακριβώς τα προϊόντα εκβολής που παρασκευάστηκαν βρίσκονται σε κατάσταση μη ισορροπίας, η οποία μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα και τη σταθερότητά τους κατά την αποθήκευση, μελετήθηκε η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας, της σύστασης των πρώτων υλών καθώς και η επίδραση της ενεργότητας νερού, στην θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των τροφίμων που παρασκευάστηκαν.

7.2 Πειραματική διαδικασία μέτρησης θερμικών ιδιοτήτων

7.2.1 Προσδιορισμός ισόθερμου ροφήσεως νερού

Τα χαρακτηριστικά προσρόφησης νερού των τροφίμων εκβολής προσδιορίστηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) με τη σταθμική μέθοδο (Maroulis et al., 1988). Αρχικά, τα προϊόντα εκβολής λειοτριβήθηκαν ώστε να αποκτήσουν πολύ μικρό μέγεθος και στη συνέχεια αφυδατώθηκαν σε ξηραντήρα με πεντοξείδιο του φωσφόρου για τρεις εβδομάδες. Τα αφυδατωμένα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρες που περιείχαν κορεσμένα διαλύματα αλάτων (LiCl, MgCl₂, Mg(NO₃)₂, NaCl, και KNO₃) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C). Η σχετική υγρασία (α_w) των προαναφερθέντων κορεσμένων διαλυμάτων αλάτων ήταν 0.11, 0.33, 0.53, 0.75 και 0.94, αντίστοιχα. Τέλος, τα δείγματα αφέθηκαν για προσρόφηση υγρασίας μέχρι σταθερού βάρους (περίπου 5 εβδομάδες). Η υγρασία ισορροπίας προσδιορίστηκε σε φούρνο κενού στους 70°C και συνολικά εκτελέστηκαν δύο επαναλήψεις.

7.2.1.1 Προσαρμογή δεδομένων ισόθερμου ροφήσεως νερού – Το μοντέλο GAB

Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλά μοντέλα για την περιγραφή των δεδομένων ροφήσεως νερού από τρόφιμα. Μεταξύ αυτών, το μοντέλο Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) θεωρείται το πιο ευέλικτο μοντέλο ρόφησης και έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς από πολλούς συγγραφείς για να μοντελοποιήσει δεδομένα ισόθερμων ροφήσεως νερού από σπόρους και δημητριακά. Σύμφωνα με τους Siripatrawan and Jantawat (2006) το μοντέλο GAB παρουσιάζει την βέλτιστη προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα ροφήσεως νερού από κράκερ ρυζιού για όλο το εύρος ενεργοτήτων νερού. Επιπρόσθετα, παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν για καστανό ρύζι και πίτουρο (Reddy and Chakraverty, 2004) καθώς και αναποφλοιώτο ρύζι (San Marin et al., 2001).

Συνεπώς, στην παρούσα εργασία για την περιγραφή των φαινομένων προσρόφησης υγρασίας των τροφίμων εκβολής χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο GAB που περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot \alpha_w}{(1 - K \cdot \alpha_w) \cdot (1 - K \cdot \alpha_w + C \cdot K \cdot \alpha_w)}$$

Όπου X η προβλεπόμενη περιεχόμενη υγρασία, α_w η ενεργότητα ύδατος, X_m η περιεκτικότητα υγρασίας μονομοριακής στιβάδας και C, K σταθερές.

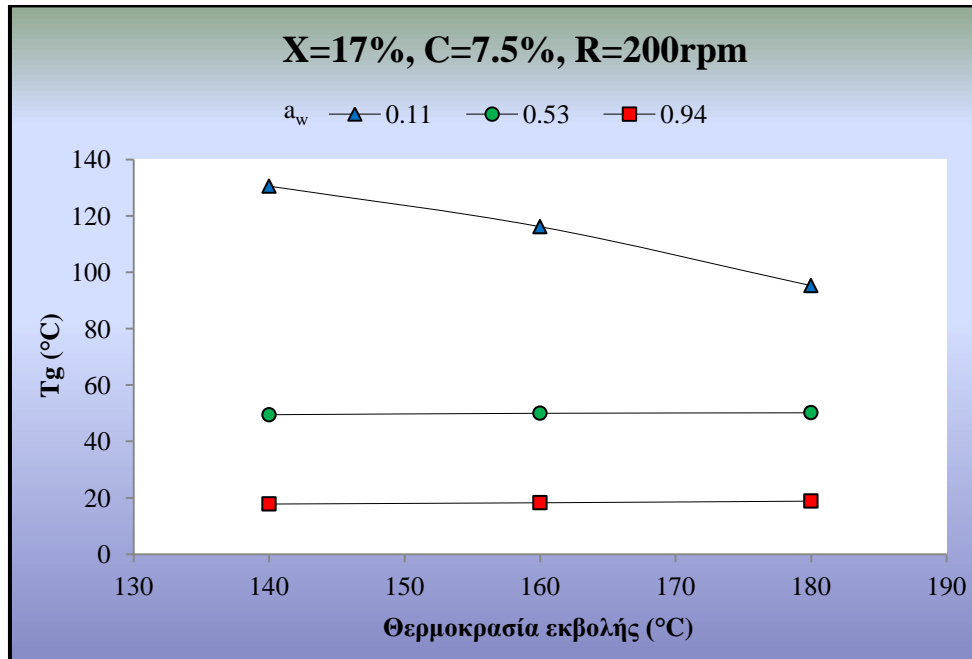
7.2.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC)

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g) των προϊόντων εκβολής χρησιμοποιήθηκε θερμιδόμετρο διαφορικής σάρωσης (DSC 6 Thermal Analysis System, Perkin Elmer Inc, USA) (Εικόνα 7.1) και το λογισμικό Pyris. Όλες οι θερμιδομετρικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αλεσμένα δείγματα. Για τη δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε αέριο άζωτο με ρυθμό ροής 30 mL/min. Μετά την εξισορρόπηση των δειγμάτων σε σταθερές τιμές α_w , 10 mg κάθε δείγματος σφραγίσθηκαν ερμητικά σε ειδικά καψύλλια αλουμινίου (50 μ L, Perkin-Elmer), με την βοήθεια της κατάλληλης πρέσας, και τοποθετήθηκαν στο DSC. Τα

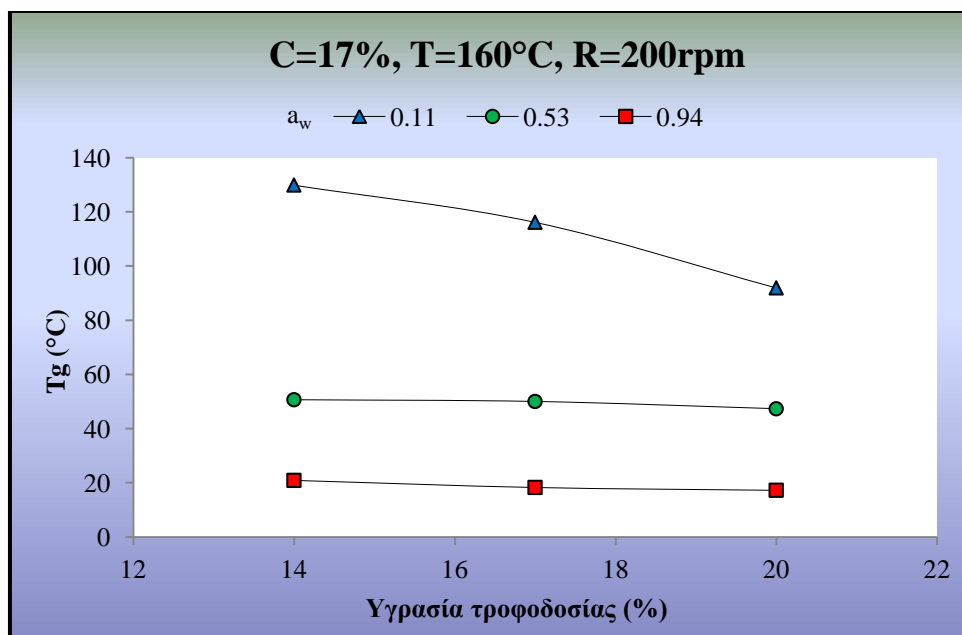
δείγματα σαρώθηκαν από τους -20°C μέχρι τους 200°C με ρυθμό $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ και συνολικά πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις.

7.3 Αποτελέσματα

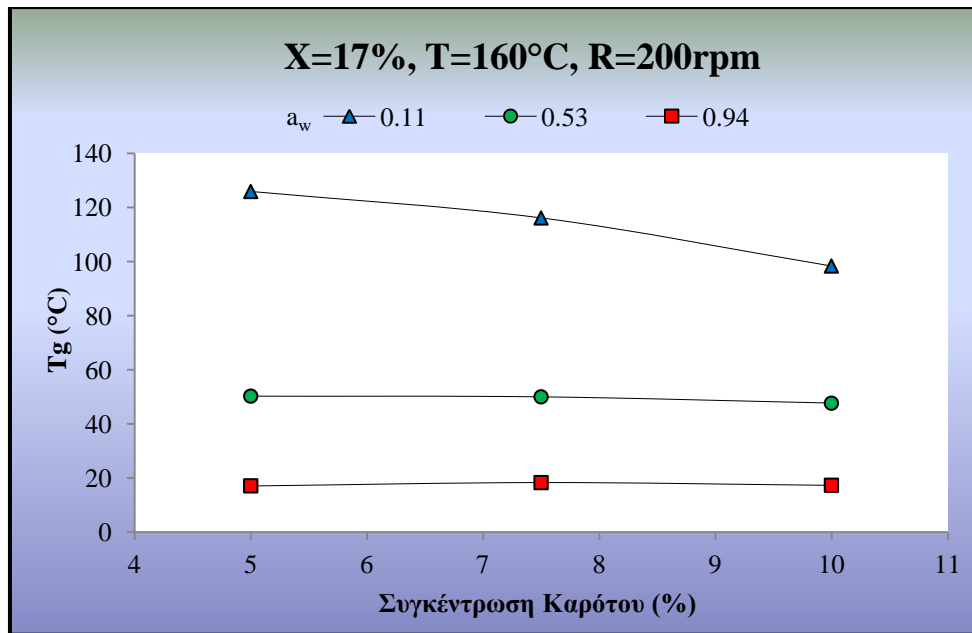
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g) των τροφίμων εκβολής ως συνάρτηση των συνθηκών επεξεργασίας, της σύστασης της τροφοδοσίας και της ενεργότητας νερού (a_w)



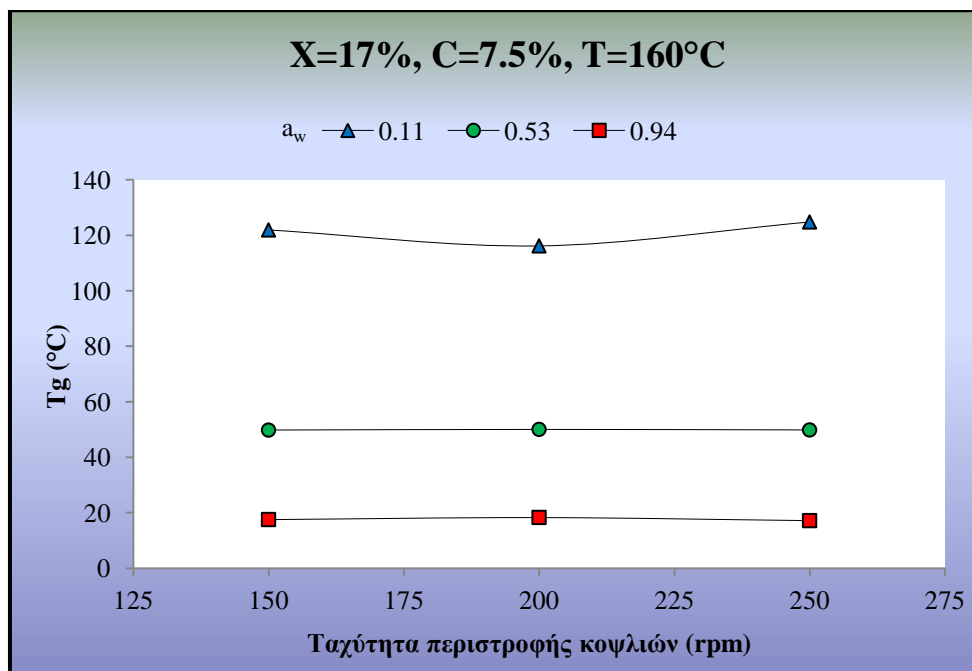
Διάγραμμα 7.1 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 7.2 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.

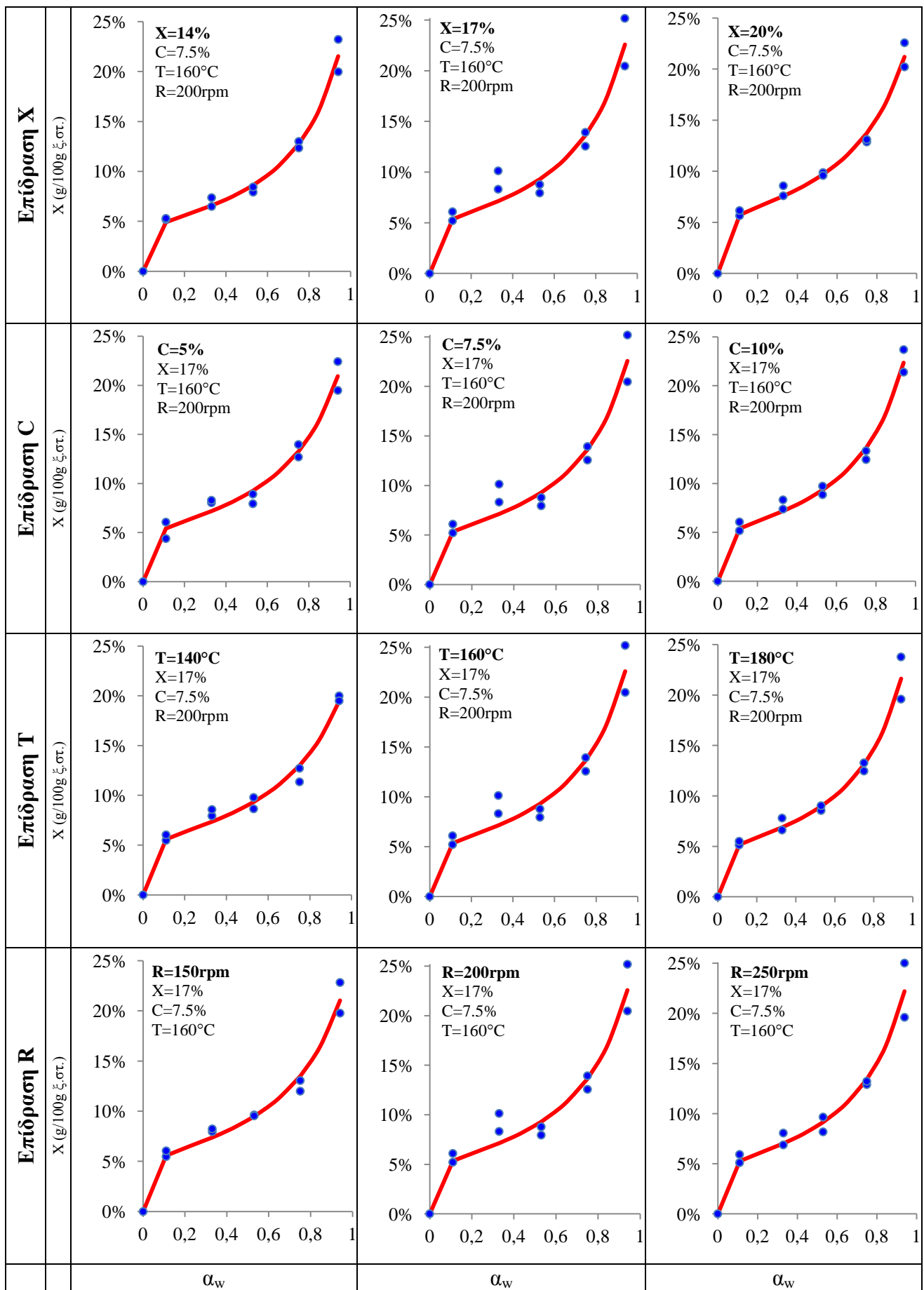


Διάγραμμα 7.3 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου.



Διάγραμμα 7.4 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοψιλών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ισόθερμων ροφήσεως νερού ως συνάρτηση των συνθηκών επεξεργασίας και της σύστασης της τροφοδοσίας. Με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται η προσέγγιση των πειραματικών δεδομένων (μπλε σημεία) μέσω του μοντέλου GAB.



Πίνακας 7.1 Ισόθερμοι ροφήσεως (25°C) των τροφίμων εκβολής (Με κόκκινη γραμμή το πρότυπο GAB).

Συνθήκες εκβολής και σύσταση τροφοδοσίας				Παράμετροι GAB			
X(%wb)	C(%)	T(°C)	R(rpm)	C	K	X _m	R ²
17	7,5	140	200	100.002	0.7538	5.690%	0.999
20	7,5	160	200	99.886	0.7740	5.796%	0.999
17	10	160	200	99.999	0.8071	5.411%	0.999
17	7,5	160	200	100	0.8119	5.363%	0.997
17	7,5	160	250	100	0.8117	5.278%	0.998
17	7,5	160	150	100	0.7796	5.642%	0.999
17	5	160	200	100	0.7868	5.469%	0.998
14	7,5	160	200	99	0.8210	4.933%	0.999
17	7,5	180	200	99	0.8096	5.182%	0.998

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα παλινδρόμησης του μοντέλου GAB για τα τρόφιμα εκβολής.

7.5 Συμπεράσματα

7.5.1 Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g)

Από τα Διαγράμματα 7.1 έως 7.4 παρατηρείται μείωση της T_g σε όλα τα δείγματα όσο αυξάνεται η ενεργότητα του νερού, ανεξαρτήτως των συνθηκών εκβολής και της σύστασης των δειγμάτων. Αυτό οφείλεται στην πολύ χαμηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης του νερού (περίπου -135°C) το οποίο έχει πλαστικοποιητική δράση στα άμορφα τμήματα του δείγματος, με αποτέλεσμα την δραματική μείωση της T_g των δειγμάτων. Η πλαστικοποίηση λόγω της προσθήκης νερού παρατηρείται για διάφορους λόγους. Κατά πρώτον οφείλεται στη χημική συγγένεια του νερού με τα μακρομοριακά συστατικά και τις αλληλεπιδράσεις με τις φορτισμένες και πολικές ομάδες τους. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη θωράκιση των ενδο- και δια-μοριακών αλληλεπιδράσεων. Επίσης το νερό αυξάνει την απόσταση μεταξύ των μακρομορίων και μειώνει τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις λόγω της διάλυσης στο νερό. Η μοριακή κινητικότητα του νερού, ως ένας διαλύτης χαμηλού ιξώδους μειώνει τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης καθιστώντας το υλικό πιο μαλακό. Αυτός ο μηχανισμός πλαστικοποίησης μαζί με διάφορους παράγοντες όπως το μικρό μοριακό βάρος του νερού σε σχέση με τα συστατικά του τροφίμου, η χαμηλή πυκνότητά του, η υψηλή διηλεκτρική του σταθερά, η ιδιαίτερα έντονη ικανότητά του να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου και τη χαμηλή T_g καθιστούν το νερό τον αποτελεσματικότερο πλαστικοποιητή στα τρόφιμα και τον καλύτερο διαλύτη για πολικά και φορτισμένα βιοπολυμερή (Tolstoguzov, 2000).

Αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας στο τρόφιμο οδηγεί σε αύξηση του ελεύθερου όγκου και τμηματική κινητικότητα της μοριακής αλυσίδας στις άμορφες περιοχές λόγω της μείωσης στο τοπικό ιξώδες, με συνέπεια τη μείωση της T_g (Διάγραμμα 7.2).

Η τιμές της T_g μειώθηκαν με την αύξηση της θερμοκρασία εκβολής (Διάγραμμα 7.1). Η εκβολή είναι μια διεργασία υψηλής θερμοκρασίας - βραχέως χρόνου (HTST). Συνεπώς, η αυξημένη μοριακή υποβάθμιση του τροφίμου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας πιθανότατα να ευθύνεται για την μείωση της T_g .

Με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών η T_g παρουσιάζει ένα τοπικό ελάχιστο στις μεσαίες στροφές (Διάγραμμα 7.4). Αυτό πιθανότατα να οφείλεται λόγω του ότι αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών αυξάνεται και η μηχανική καταπόνηση του τροφίμου με αποτέλεσμα την μοριακή υποβάθμιση άρα και την αρχική μείωση της T_g . Παράλληλα όμως, όσο συνεχίζεται η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής μειώνεται και ο χρόνος παραμονής του υλικού στον εκβολέα με αποτέλεσμα τη μη ολοκληρωτική διάσπαση των συστατικών του τροφίμου. Συνεπώς, αναμένεται πιο πολλά μεγάλα μόρια να παραμένουν ανέπαφα και στο γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται η μετέπειτα αύξηση της T_g που παρατηρείται στις υψηλές στροφές.

Αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου προκαλεί μείωση της T_g . Η προσθήκη καρότου αυξάνει το περιεχόμενο των φυτικών ινών του τροφίμου. Οι φυτικές ίνες ενισχύουν το πλέγμα του τροφίμου που υφίσταται εκβολή και δημιουργούνται έτσι πιο σκληρές δομές και υφές (Anton et al., 2009) Οι μεταβολές στη μικροδομή λόγω των αλλαγών στη σύνθεση του τροφίμου επηρεάζουν τις μοριακές κινήσεις και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των τροφίμων εκβολής.

Η γνώση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης έχει πολύ μεγάλη σημασία επειδή πάνω από αυτήν την θερμοκρασία η μοριακή κινητικότητα είναι υψηλότερη προκαλώντας επιτάχυνση των ρυθμών αντίδρασης, ενώ κάτω από αυτήν το τρόφιμο παραμένει πιο συμπαγές σταθερό.

7.5.2 Ισόθερμοι Ροφήσεως Νερού

Τα πειραματικά δεδομένα των ισόθερων προσρόφησης νερού των τροφίμων εκβολής καθώς και η προσέγγιση αυτών μέσω του μοντέλου GAB παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1 Γενικά οι τιμές της υγρασίας των τροφίμων εκβολής κυμάνθηκαν από 5,22 g/100g ξ.στ. έως 22,82 g/100g ξ.στ.. Οι ισόθερμες προσρόφησης νερού των τροφίμων εκβολής εμφάνισαν τη χαρακτηριστική σιγμοειδή καμπύλη, τυπική για πολλά τρόφιμα. Το μοντέλο GAB προσαρμόστηκε στα πειραματικά δεδομένα και οι τιμές του, απεικονίζονται μέσω της κόκκινης καμπύλης στα διαγράμματα του Πίνακα 7.1 για κάθε δείγμα.

Οι τιμές των παραμέτρων του προτύπου GAB συνοψίζονται στον Πίνακα 7.2. Οι τιμές του R^2 επιβεβαιώνουν ότι οι ισόθερμοι ροφήσεως περιγράφονται ικανοποιητικά από το πρότυπο GAB. Οι παράμετροι του προτύπου GAB έχουν φυσική σημασία. Η παράμετρος C ορίζεται ως ο λόγος της χαρακτηριστικής συνάρτησης του πρώτου μορίου που προσροφάται σε μία θέση και της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων που προσροφώνται πέρα από το πρώτο μόριο στην πολυστιβάδα. Η παράμετρος C αποτελεί μέτρο της δύναμης που συνδέεται το νερό στις αρχικές θέσεις σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το C , τόσο ισχυρότερα είναι το νερό συνδεδεμένο στη μονομοριακή στιβάδα και τόσο μεγαλύτερη η διαφορά στην ενθαλπία μεταξύ των μορίων της μονομοριακής στιβάδας και αυτών της πολυστιβάδας. Η παράμετρος K ορίζεται ως ο λόγος της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων του κύριου όγκου

του νερού και της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων που είναι προσροφημένα στην πολυστιβάδα.

Το K ονομάζεται παράγοντας διόρθωσης, αφού διορθώνει τις ιδιότητες των μορίων της πολυστιβάδας σε σχέση με αυτές του κύριου όγκου του νερού. Όταν το K προσεγγίζει την τιμή 1, σχεδόν δεν υπάρχει καμία διάκριση μεταξύ των μορίων της πολυστιβάδας και των μορίων του νερού. Σε αυτήν την περίπτωση τα μόρια νερού πάνω από τη μονομοριακή στιβάδα είναι δομημένα στην πολυστιβάδα, αλλά έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα μόρια του κύριου όγκου του νερού. Όσο περισσότερο δομημένα είναι τα προσροφημένα μόρια στην πολυστιβάδα, τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή του K (Quirijns et al. 2005).

Η τιμή του C των τροφίμων εκβολής ήταν υψηλή. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το νερό στη μονοστιβάδα του προϊόντος είναι ισχυρά συνδεδεμένο με αυτήν και υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην ενθαλπία μεταξύ των μορίων της μονοστιβάδας και της πολυστιβάδας. Γενικά, από τις τιμές των παραμέτρων του προτύπου GAB για τα τρόφιμα εκβολής, είναι φανερό ότι η μονοστιβάδα έχει διαφορετικές ιδιότητες από ότι η πολυστιβάδα και ότι η πολυστιβάδα συμπεριφέρεται παρόμοια με τον κύριο όγκο νερού ($C \gg 1$ και $K \approx 1$) (Quirijns et al., 2005).

8. ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

8.1 Αντικείμενο και στόχοι

Οι οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων είναι καθοριστικές για την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Τα διάφορα διογκωμένα προϊόντα εκβολής έχουν μοναδικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ιδιαίτερος αρεστά από τους καταναλωτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από τη δομή και την υφή των προϊόντων, καθώς και από τα διάφορα αρωματικά συστατικά με τα οποία εμπλουτίζονται. Η υφή και η δομή των τροφίμων εκβολής επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες επεξεργασίας και τη σύσταση του μίγματος που υφίσταται επεξεργασία. Κατά συνέπεια οι οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής επηρεάζονται και καθορίζονται από τις συνθήκες εκβολής, όπως η θερμοκρασία, η παροχή του υλικού τροφοδοσίας και η χημική σύνθεση του υλικού. Για το λόγο αυτό, μελετήθηκαν οι οργανοληπτικές ιδιότητες των προϊόντων που παρασκευάστηκαν από ρυζάλευρο και αποξηραμένη σκόνη καρότου μέσω ξήρανσης με κατάψυξη. Εξετάσθηκε η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας και των πρώτων υλών (θερμοκρασία εκβολής, υγρασία τροφοδοσίας, αναλογία ρυζάλευρου/καρότου, ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) στις οργανοληπτικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

Συνεπώς, κύριος στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η μελέτη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (εμφάνιση, γεύση, υφή και αποδοχή) των προϊόντων εκβολής από ρυζάλευρο και αποξηραμένη σκόνη καρότου, όπως αυτά επηρεάζονται από τις παραμέτρους της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής, ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών (υγρασία τροφοδοσίας, αναλογία ρυζάλευρου/καρότου).

8.2 Πειραματική διαδικασία οργανοληπτικής αξιολόγησης

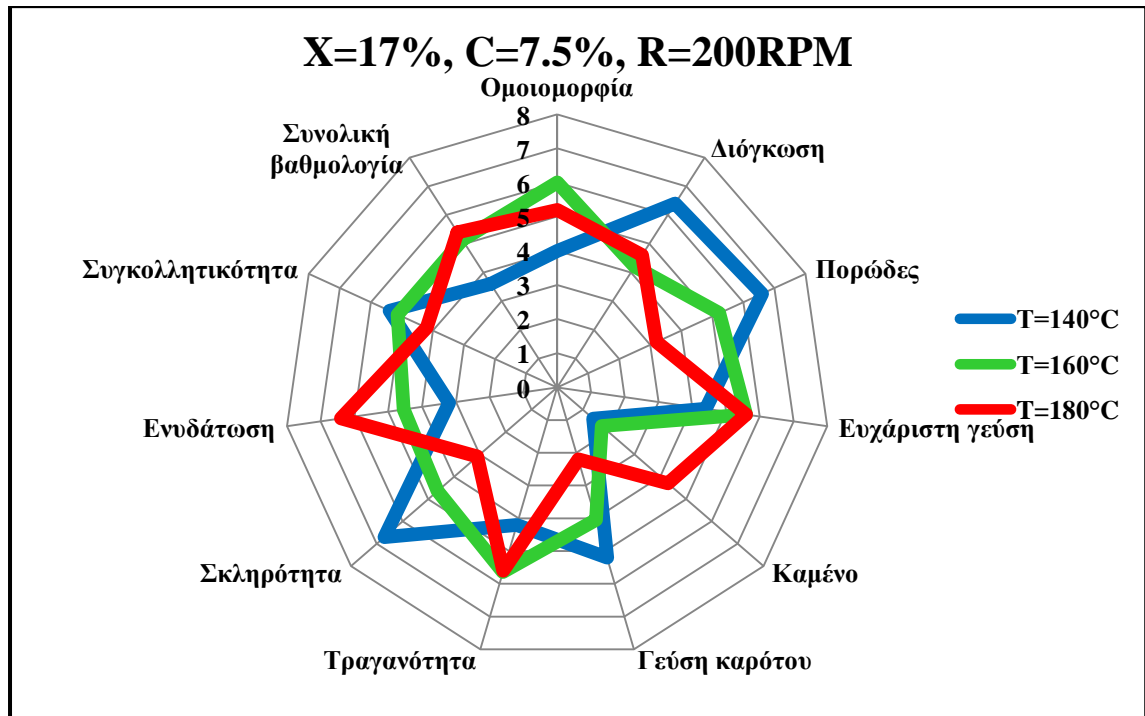
Για την περιγραφική ανάλυση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων εκβολής χρησιμοποιήθηκε πενταμελής ομάδα δοκιμαστών. Οι δοκιμές διεξήχθησαν στον διαπιστευμένο χώρο οργανοληπτικών δοκιμών του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Οι δοκιμαστές αξιολόγησαν τα προϊόντα εκβολής σε ξεχωριστούς φωτισμένους θαλάμους. Για να εξασφαλισθούν σταθερές συνθήκες μεταξύ των οργανοληπτικών ελέγχων, η θερμοκρασία του χώρου παρέμενε σταθερή ($25\pm 1^\circ\text{C}$) και τα αναλώσιμα (πλαστικά πιάτα, ποτήρια, εμφιαλωμένο νερό για την έκλυση του στόματος κ.α.) που χρησιμοποιούνταν είχαν σταθερά χαρακτηριστικά. Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων περιλάμβανε τον τεμαχισμό των κυλινδρικών τροφίμων εκβολής σε κομμάτια περίπου 4 cm και την τοποθέτηση τριών τεμαχίων σε λευκά πλαστικά πιάτα. Τα δείγματα εμφανιζόταν στους δοκιμαστές με τυχαία σειρά. Σε κάθε πιάτο αναγραφόταν ο κωδικός του αντίστοιχου δείγματος, ο οποίος ήταν τυχαίος τριψήφιος αριθμός. Μεταξύ των διαδοχικών δοκιμών οι δοκιμαστές ξέπλεναν το στόμα τους με εμφιαλωμένο νερό, προκειμένου να ουδετεροποιήσουν τους υποδοχείς της γλώσσας. Οι περιγραφικοί όροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των διαφόρων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων εκβολής, καθώς και οι ορισμοί και οι άξονες βαθμολογίας, αναλύονται στον Πίνακα 8.1. Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων της υφής έγινε με χρήση 9-βάθμιας κλίμακας όπου: 1 = ανεπαίσθητο/μη αντιληπτό χαρακτηριστικό, 5 = αρκετά αντιληπτό και 9 = εξαιρετικά αντιληπτό/πολύ έντονο. Σε κάθε δοκιμή σερβίρονταν 5 δείγματα. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές, διάρκειας 45 min.

Πίνακας 8.1 Χαρακτηριστικά, ορισμοί και άξονες που χρησιμοποιήθηκαν στην περιγραφική ανάλυση των τροφίμων εκβολής.

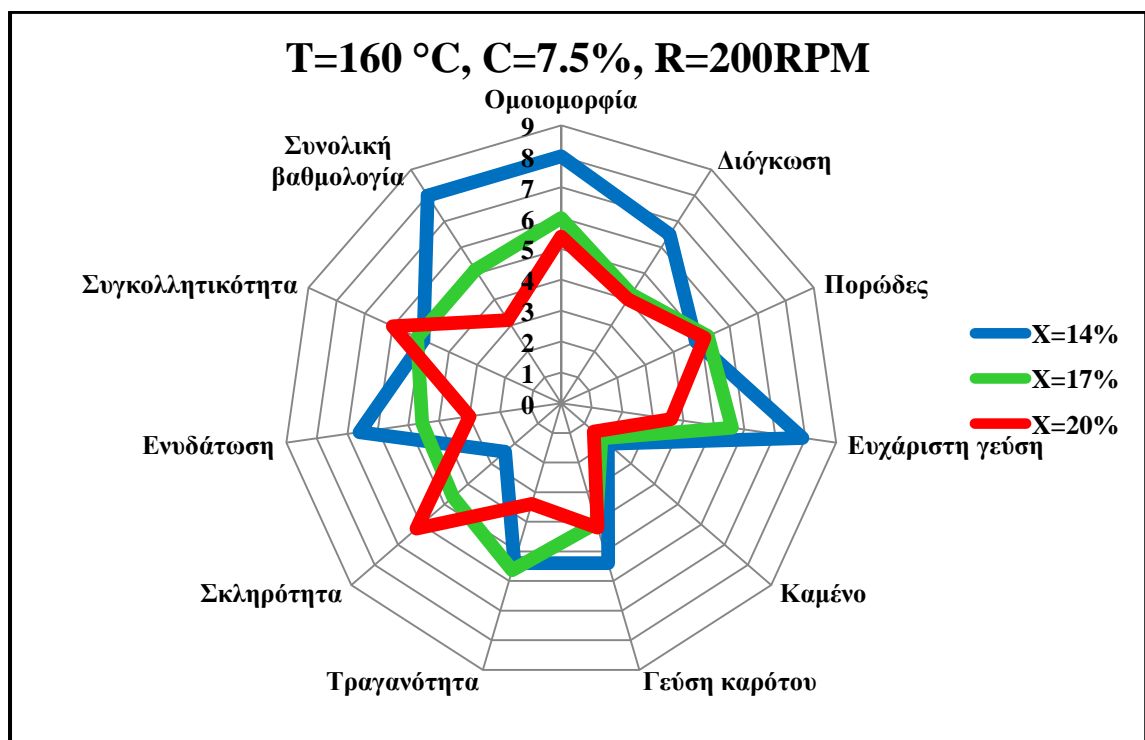
	Χαρακτηριστικό	Ορισμός	Άξονας
Εμφάνιση	Ομοιομορφία	Ομογενής δομή	Χαμηλό έως υψηλό
	Πορώδες	Ποσοστό των πόρων αέρα στην κάθετη διατομή του δείγματος	Λίγοι μέχρι πολλοί
	Διόγκωση	Μέγεθος της κάθετης διατομής του δείγματος	Χαμηλό έως υψηλό
Γεύση-Οσμή	Ευχάριστη γεύση	Νόστιμο δείγμα	Καθόλου έως πολλή
	Καμένο	Καμένο και πικρό δείγμα	Χαμηλό έως υψηλό
Υφή	Τραγανότητα	Βαθμός του θορύβου που ελευθερώνεται κατά τη μάσηση με τους γομφίους	Χαμηλό έως υψηλό
	Σκληρότητα	Η δύναμη που ασκείται κατά το δάγκωμα του δείγματος	Χαμηλό έως υψηλό
	Συγκολλητικότητα	Βαθμός με τον οποίο τα σωματίδια του δείγματος συγκολλούνται μεταξύ τους	Χαμηλό έως υψηλό
	Ενυδάτωση και διάλυση	Ποσοστό που διαλύεται	Χαμηλό έως υψηλό
Συνολική βαθμολογία με βάση το σύνολο των χαρακτηριστικών			Χαμηλό έως υψηλό

8.3 Αποτελέσματα

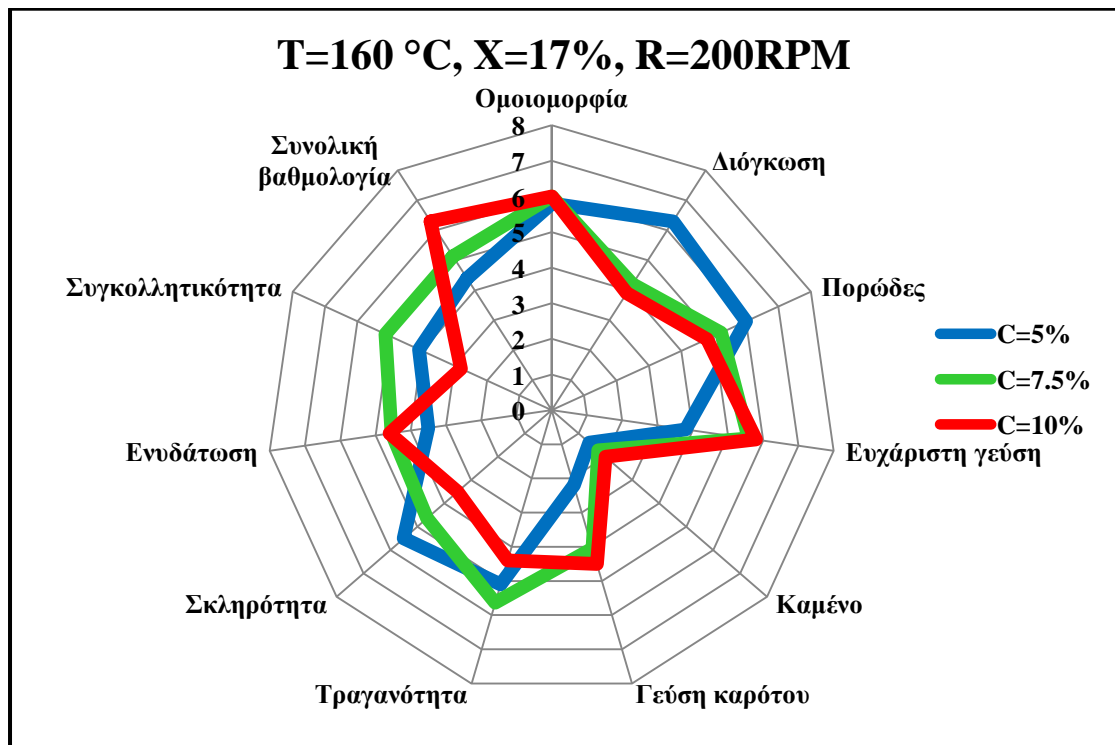
Η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων εκβολής, όπως αυτά εκτιμήθηκαν από τους δοκιμαστές, παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



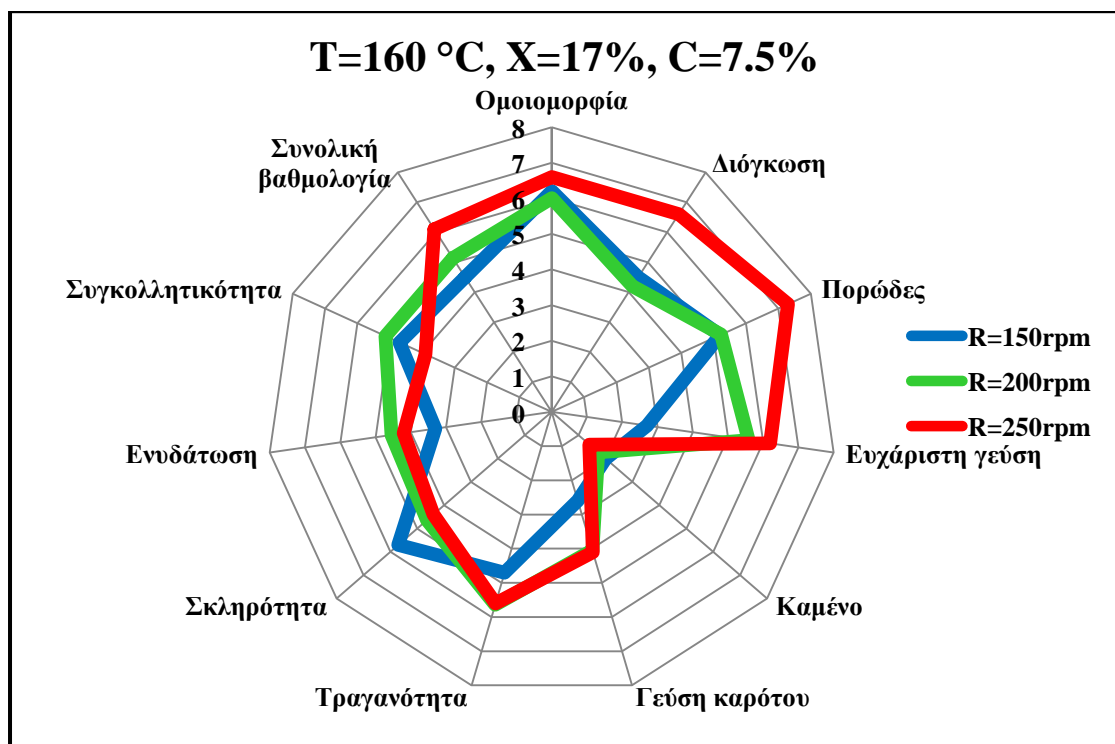
Διάγραμμα 8.1 Μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών συναρτήσει της θερμοκρασίας εκβολής.



Διάγραμμα 8.2 Μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών συναρτήσει της υγρασίας της τροφοδοσίας.



Διάγραμμα 8.3 Μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών συναρτήσει της συγκέντρωσης του καρότου στην τροφοδοσία.



Διάγραμμα 8.4 Μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

8.4 Συμπεράσματα

Η ομοιομορφία των προϊόντων εκβολής επηρεάστηκε από τις συνθήκες εκβολής, καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών. Η ομοιομορφία των τροφίμων φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών ενώ αντίθετα με τη μείωση της υγρασίας της πρώτης ύλης η ομοιομορφία αυξάνεται εκπληκτικά. Τέλος, η ομοιομορφία των προϊόντων φαίνεται να μην επηρεάζεται ιδιαίτερα από την συγκέντρωση του καρότου στην πρώτη ύλη. Η αντίληψη της ομοιόμορφης δομής των προϊόντων επηρεάζεται κυρίως από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους. Από την παραπάνω παρατήρηση αναμένεται ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές που θα επηρεάζουν τη διόγκωση και το πορώδες θα επιδρούν και στην αντίληψη της καλής εμφάνισης των προϊόντων.

Η οργανοληπτική διόγκωση φαίνεται να αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας εκβολής, την υγρασία της τροφοδοσίας και της συγκέντρωσης του καρότου στην τροφοδοσία ενώ αντίθετα φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

Το οργανοληπτικό πορώδες επηρεάζεται παρόμοια με την διόγκωση, δηλαδή φαίνεται να αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας εκβολής και της συγκέντρωσης του καρότου στην τροφοδοσία καθώς και με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών ενώ αντίθετα οι δοκιμαστές θεωρούν ότι παρουσιάζει μικρή αύξηση με την αύξηση της υγρασίας της τροφοδοσίας.

Όσων αφορά τη γεύση, σύμφωνα με τους δοκιμαστές, τα πιο ευχάριστα γευστικά είναι τα προϊόντα με ιδιαίτερα χαμηλή υγρασία τροφοδοσίας, αυξημένη περιεκτικότητα σε καρότο και επεξεργασμένα σε υψηλή θερμοκρασία εκβολής και υψηλή ταχύτητα περιστροφής κοχλιών. Ο καθοριστικότερος όμως παράγοντας όλων που φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τη γεύση του τροφίμου είναι η υγρασία της τροφοδοσίας

Την αίσθηση του καμένου στα δείγματα φαίνεται να έχουν περισσότερο αυτά που έχουν προκύψει από υψηλότερη θερμοκρασία εκβολής, συγκέντρωση καρότου και χαμηλότερη υγρασία τροφοδοσίας και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών.

Όσων αφορά την τραγανότητα των δειγμάτων αυτή σύμφωνα με τους δοκιμαστές φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών ενώ μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του καρότου και της υγρασίας της τροφοδοσίας.

Επιπλέον η σκληρότητα των προϊόντων αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας, ενώ αντίθετα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής, της συγκέντρωσης του καρότου στη τροφοδοσία καθώς της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

Παράλληλα, η ενυδάτωση των προϊόντων στο στόμα κατά την κατανάλωση τους φαίνεται να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής, της συγκέντρωσης του καρότου καθώς και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, ενώ αντίθετα μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά την συγκολλητικότητα των προϊόντων, αυτή αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας και τη μείωση της θερμοκρασίας εκβολής, ενώ παρουσιάζει τοπικά μέγιστα στις μεσαίες τιμές συγκέντρωσης καρότου και ταχύτητας περιστροφής κοχλιών.

Τέλος, οι δοκιμαστές βαθμολόγησαν συνολικά τα δείγματα βάση των προσωπικών τους κριτηρίων και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου έδειξαν ότι το δείγμα που συγκεντρώνει συνολικά τα περισσότερα πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα υπόλοιπα, είναι το δείγμα που επεξεργάστηκε σε θερμοκρασία εκβολής 160°C, ταχύτητα περιστροφής κοχλιών 200 rpm και σύσταση πρώτης ύλης 7,5% σε καρότο και υγρασία 14% wb.

9. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Η μελέτη που έγινε για μια προσεγγιστική περιγραφή της διεργασίας εκβολής επιδέχεται περαιτέρω μελέτη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε λεπτομερέστερα συμπεράσματα όσον αφορά τη λειτουργία του εκβολέα και τις ιδιότητες των προϊόντων. Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια γενική μεταβολή των ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής σε συνάρτηση με συγκεκριμένες παραμέτρους. Έτσι, προέκυψαν διαγράμματα που παρουσιάζουν τη γενική τάση των δομικών, λειτουργικών, οπτικών και θερμικών ιδιοτήτων καθώς και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων εκβολής από ρυζάλευρο και αποξηραμένη σκόνη καρότου.

Οι προοπτικές σε ερευνητικό επίπεδο για περαιτέρω μελέτη που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι οι ακόλουθες:

- Η διερεύνηση των ιδιοτήτων τροφίμων εκβολής, με χρήση άλλων θρεπτικών λαχανικών, καθώς και άλλης αμυλούχας βάσης, όπως αλεύρων σίτου ή καλαμποκιού
- Η μελέτη της θρεπτικής αξίας των προϊόντων εκβολής και της επίδρασης της διεργασίας πάνω σε θρεπτικά συστατικά όπως οι βιταμίνες και τα ιχνοστοιχεία.
- Η μελέτη και ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη μέτρηση της επίδρασης της εκβολής στα φυσικά αντιοξειδωτικά.
- Η διερεύνηση της μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής.
- Η μελέτη της επίδρασης του ποσοστού της αμυλόζης στις ιδιότητες ποιότητας των τροφίμων εκβολής.
- Η ανάπτυξη τεχνολογίας για την παραγωγή νέων και καινοτόμων προϊόντων με μοναδική δομή και υφή.
- Η ανάπτυξη ενιαίου μαθηματικού προτύπου περιγραφής των ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anderson, R. A., Conway, H. F., & Peplinski, A. J. (1970). *Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking*, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke*, 22(4), p.130-135.

Anton, A.A., R. Gary Fulcher, and S.D. Arntfield, *Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (Phaseolus vulgaris L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking*. *Food Chemistry*, 2009. 113(4): p. 989-996.

Applications Note, Hurperlab, Vol. 13, No. 2, June, 2008

Applications Note, Hurperlab, Vol. 8, No. 7, June, 2008

Applications Note, Hurperlab, Vol. 8, No. 9, June, 2008

Baik, B.-K., J. Powers, and L.T. Nguyen, *Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals*. *Cereal Chemistry Journal*, 2004. 81(1): p. 94-99.

BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (1996). *Carbohydrates*. In: O. R. Fennema, *Food Chemistry* (p. 157-223). New York, U.S.A: Marcel Dekker.

Berset, C., 1989. *Color Extrusion Cooking* (C. Mercier, P. Linko, J.M. Harper eds.), American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA, p. 371-385.

Chang, C.N., 1992. *Study of the mechanism of starchy polymer extrudate expansion*. D. Phil Thesis. New Brunswick, N.J.: Rutgers, the state university of New Jersey. 291p.

Chauhan, G. S., & Bains, G. S. (1988). *Effect of some extruder variables on physicochemical properties of extruded rice-legume blends*. *Food Chemistry*, 27(3), p.213-224.

Colonna, P., Doublier, J. L., Melcion, J. P., de Monredon, F., & Mercier, C. (1984). *Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modification*. *Cereal chemistry*, 61, p. 538-543.

Colonna, P., Tayeb, J., & Mercier, C. (1989). *Extrusion cooking of starch and starchy products*. In: C. Mercier, P. Linko, & J. M. Harper, *Extrusion Cooking* (p. 247-319). St Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Dar, A. H., Sharma, H. K. and Kumar, N. (2012), *Effect of Extrusion Temperature on the Microstructure, Textural and Functional Attributes of Carrot Pomace-Based Extrudates*. *Journal of Food Processing and Preservation*.

Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). *The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks*. *Journal of Food Engineering*, 73(2), p. 142-148.

Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). *The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks*. *Journal of Food Engineering*, 66(3), p. 283-289.

Drago, S., Velasco-González, O., Torres, R., González, R., & Valencia, M. (2007). *Effect of the Extrusion on Functional Properties and Mineral Dialyzability from Phaseolus Vulgaris Bean Flour*. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 62(2), p. 43-48.

Ellis, R. P., Cochrane, M. P., Dale, M. F. B., Duffus, C. M., Lynn, A., Morrison, I. M., Prentice, R. D. M., Swanston, J. S., & Tiller, S. A. (1998). *Starch production and industrial use*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(3), p: 289-311.

Fellows, P. J. (2000). *Food processing technology: principles and practice*. London: Ellis Horwood.

Fernandez - Gutierrez, J. A., Martin - Martinez, E. S., Martinez-Bustos, F., & Cruz-Orea, A. (2004). *Physicochemical Properties of Casein-Starch Interaction Obtained by Extrusion Process*. *Starch - Stärke*, 56(5), p. 190-198.

Frame, N. D. (1994). *The technology of extrusion cooking*. London: Blakie Academic & Professional.

Giese, J., 2000. *Color measurement in foods as a quality parameter*, *Food Technology*, 54(2): p. 62-64.

Guy, R. (2001). *Extrusion Cooking: Technologies and applications*. BocaRaton: CRC Press.

Guy, R. C. E. (1994). *Raw material for extrusion cooking processes*. In: N. D. Frame, *The Technology of Extrusion Cooking* (pp. 52-72). London: Blakie Academic & Professional.

Hagenimana, A., X. Ding, and T. Fang, *Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking*. *Journal of Cereal Science*, 2006. 43(1): p. 38-46.

Harper, J.M., 1986. *Processing characteristics of food extruders*. *Food Engineering and Process Applications*, vol. 2, Unit Operations (M. Le Maguer and P. Jelen, eds.), Elsevier, London, p. 101-114.

- Harper, J.M., 1989. *Food Extruders and their applications*. Extrusion Cooking (C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper eds.), American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA, p. 1-15.
- Harper, J M ., 1992. *A comparative analysis of single- and twin-screw extruders*. Food Extrusion Science and Technology (J. L. Kokini, C.-T. Ho and M.V. Karwc, eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, p. 139-148.
- Ilo, S., Berghofer, E., 1999. *Kinetics of colour change during extrusion cooking of maize grits*, Journal of Food Engineering,39: p. 73-80.
- J. Vainionpää, S.S. Tantchev, Y. Mälkki, A. Mustranta, *Extrusion-cooking of wheat flour-carrot mixture*, Journal of Food Engineering, Volume 10, Issue 4, 1989, p. 275-286
- Jyothi, A.N., J.T. Sheriff, and M.S. Sajeev, *Physical and Functional Properties of Arrowroot Starch Extrudates*. Journal of Food Science, 2009. 74(2): p. E97-E104.
- Kokini JL, Chang CN, Lai LS. 1992. *The role of rheological properties on extrudate expansion*. In: Kokini JL, Ho C-T, Karwe MV, editors. Food extrusion science and technology. NewYork, N.Y.: MarcelDekkerInc. p 631-53.
- Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. (1997). *Effect of drying method on shrinkage and porosity*. Drying Technology: An International Journal, 15(10), p.2441 - 2458.
- Lazou, A. and M. Krokida, *Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks*. Journal of Food Engineering. 100(3): p. 392-408.
- Lue, S. and H.E. Huff, *Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content*. Cereal chemistry., 1991. 68(3): p. 227-234.
- Maroulis, Z. B., Tsami, E., Marinos-Kouris, D., & Saravacos, G. D. (1988). *Application of the GAB model to the moisture sorption isotherms for dried fruits*. Journal of Food Engineering, 7(1),p. 63-78.
- McWilliams, M. (1993). *Foods: Experimental Perspectives*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Mercier, C., Linko, P., & Harper, J. M. (1989). *Extrusion Cooking*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA, p. 339-370.
- Michailidis, P. A., Krokida, M. K., Bisharat, G. I., Marinos - Kouris, D., & Rahman, M. S. (2009). *Measurement of Density, Shrinkage, and Porosity*.In: M. S. Rahman, Food Properties Handbook (p. 398-415). New York: CRC Press.

- Millauer, C., 1987. *The monitoring and control of an extrusion system* Extrusion Technology for the Food Industry (C. O'Connor, ed.), Elsevier, London, p. 54-85.
- Miller, R.C., 1985. *Low moisture extrusion: Effects of cooking moisture on product characteristics*. J. Food Sci., 50: p. 249-253.
- Moraru, C.I., Kokini, J.L., 2003. *Nucleation and microwave heating of cereal foods*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2: p.120-138.
- Obatolu Veronica, A., O. Omueti Olusola, and E.A. Adebowale, *Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture*. Journal of Food Process Engineering, 2006. 29(2): p. 149-161.
- Pastor-Cavada, E., et al., *Effects of the addition of wild legumes (Lathyrusannuus and Lathyrusclymenum) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice*. Food Chemistry. 128(4): p. 961-967.
- Quirijns, E. J., van Boxtel, A. J. B., van Loon, W. K. P., & van Straten, G. (2005). *Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(11), p. 1805-1814.
- Rahman, M. S. (1995). *Food Properties Handbook*. BocaRaton: CRCPress.
- Riaz, M.N., 2001. *Selecting the right extruder*. Extrusion cooking. Technologies and applications (ed. R. Guy), CRC Press, p. 26-50.
- Rokey, G.J., 2000. *Single-Screw Extruders*. Extruders in Food Applications, CRC Press, p. 25-62
- Sacchetti, G., et al., *Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products*. Food Research International, 2004. 37(5): p. 527-534.
- Suwendu, B., *Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: Extrusion and extrudate characteristics*. Journal of Food Engineering, 1997. 32(1): p. 83-99.
- Tolstoguzov, V. B. (2000). *The importance of glassy biopolymer components in food*. Nahrung/Food, 44(2), p. 76-84.
- Ziminski, R.D., Eise K., 1980. *Twin-screw extruder mechanism in food processing*, Werner & P fleiderer Corp., Ramsey, NJ.
- E11,A., 1984. *Co-rotating twins are finding niche in food manufacture*. Snack Food, 73(2): p. 34-47.

Ελληνική βιβλιογραφία

Θωμόπουλος, Χ.,1981 Τεχνολογία γεωργικών βιομηχανιών, Εκδόσεις Λύχνος, Αθήνα.

Μπόσκος, Δ. ,1997. Χημεία τροφίμων, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.

Βιβλιογραφία διαδικτύου

<http://nutritiondata.self.com/>

<http://www.carrotmuseum.co.uk/nutrition2.html>

<http://www.ceb.cam.ac.uk/pages/pfg-alumni-nitin-nowjee.html>

<http://www.cs.sfu.ca/CourseCentral/365/mark/material/notes/Chap3/Chap3.3.html>

<http://www.philonnet.gr/products/ansys/polyflow/extruders/index.html>

http://www.thermoscientific.com/ecom/servlet/productsdetail_11152_L11299_89562_11962458_-1

11.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π-1 Προσδιορισμός παραμέτρων X_n , Z_n , K_a και K_b για παρατηρητή 2 μοιρών.

CIE 2 Degree Standard Observer				
Illuminant	X_n	Z_n	K_a	K_b
A	109.83	35.55	185.20	38.40
C	98.04	118.11	175.00	70.00
D ₆₅	95.02	108.82	172.30	67.20
F2	98.09	67.53	175.00	52.90
TL 4	101.40	65.90	178.00	52.30
UL 3000	107.99	33.91	183.70	37.50
D ₅₀	96.38	82.45	173.51	58.48
D ₆₀	95.23	100.86	172.47	64.72
D ₇₅	94.96	122.53	172.22	71.30

Πίνακας Π-2 Προσδιορισμός παραμέτρων X_n , Z_n , K_a και K_b για παρατηρητή 10 μοιρών

CIE 10 Degree Standard Observer				
Illuminant	X_n	Z_n	K_a	K_b
A	111.16	35.19	186.30	38.20
C	97.30	116.14	174.30	69.40
D ₆₅	94.83	107.38	172.10	66.70
F2	102.13	69.37	178.60	53.60
TL 4	103.82	66.90	180.10	52.70
UL 3000	111.12	35.21	186.30	38.20
D ₅₀	96.72	81.45	173.82	58.13
D ₆₀	95.21	99.60	172.45	64.28
D ₇₅	94.45	120.70	171.76	70.76

Πίνακας Π-3 Προσδιορισμός παραμέτρων X_n και Z_n για παρατηρητή 2 μοιρών

CIE 2 Degree Standard Observer		
Illuminant	X_n	Z_n
A	109.83	35.55
C	98.04	118.11
D_{65}	95.02	108.82
F2	98.09	67.53
TL 4	101.40	65.90
UL 3000	107.99	33.91
D_{50}	96.38	82.45
D_{60}	95.23	100.86
D_{75}	94.96	122.53

Πίνακας Π-4 Προσδιορισμός παραμέτρων X_n και Z_n για παρατηρητή 10 μοιρών

CIE 10 Degree Standard Observer		
Illuminant	X_n	Z_n
A	111.16	35.19
C	97.30	116.14
D_{65}	94.83	107.38
F2	102.13	69.37
TL 4	103.82	66.90
UL 3000	111.12	35.21
D_{50}	96.72	81.45
D_{60}	95.21	99.60
D_{75}	94.45	120.70

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΥΛΙΚΩΝ**

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

A/A	Υγρασία (X% v.β.)	Συγκ. καρτόου (C%)	Θερμ. εκβολής (T°C)	Ταχ. περ. κοχλίων (rpm)	α_w	Υγρασία X (ξ.β.)	STDEV X ±	GAB	T _g (°C)	STDEV T _g ±
5	17	7,5	140	200	0,11	0,0576	0,0558	0,0558	130,5145	1,479
5	17	7,5	140	200	0,33	0,0825	0,0735	0,0735	-	-
5	17	7,5	140	200	0,53	0,0922	0,0933	0,0933	49,435	1,969
5	17	7,5	140	200	0,75	0,1204	0,1299	0,1299	-	-
5	17	7,5	140	200	0,94	0,1975	0,1944	0,1944	17,8255	2,6326
10	20	7,5	160	200	0,11	0,0591	0,0572	0,0572	91,913	3,5484
10	20	7,5	160	200	0,33	0,081	0,0756	0,0756	-	-
10	20	7,5	160	200	0,53	0,0973	0,0968	0,0968	47,299	2,6828
10	20	7,5	160	200	0,75	0,1299	0,1371	0,1371	-	-
10	20	7,5	160	200	0,94	0,214	0,2119	0,2119	17,2395	1,2424
11	17	10	160	200	0,11	0,0561	0,0538	0,0538	98,358	4,8429
11	17	10	160	200	0,33	0,0785	0,0717	0,0717	-	-
11	17	10	160	200	0,53	0,0929	0,0933	0,0933	47,6335	1,6142
11	17	10	160	200	0,75	0,1289	0,1362	0,1362	-	-
11	17	10	160	200	0,94	0,2255	0,2235	0,2235	17,302	5,2566
12-13 (ΚΕΝΤΡΙΚΟ)	17	7,5	160	200	0,11	0,0565	0,0534	0,0534	116,137	19,9503
12-13	17	7,5	160	200	0,33	0,0922	0,0713	0,0713	-	-
12-13	17	7,5	160	200	0,53	0,0836	0,0929	0,0929	50	1,3506
12-13	17	7,5	160	200	0,75	0,1324	0,1362	0,1362	-	-
12-13	17	7,5	160	200	0,94	0,2282	0,2257	0,2257	18,274	3,2004
14	17	7,5	160	200	0,11	0,0551	0,0525	0,0525	124,755	7,7414
14	17	7,5	160	200	0,33	0,0746	0,0701	0,0701	-	-
14	17	7,5	160	200	0,53	0,0891	0,0914	0,0914	49,7975	1,6737
14	17	7,5	160	200	0,75	0,1305	0,1340	0,1340	-	-
14	17	7,5	160	200	0,94	0,2231	0,2220	0,222	17,1155	0,8478
15	17	7,5	160	200	0,11	0,0576	0,0557	0,0557	121,873	3,5487
15	17	7,5	160	200	0,33	0,081	0,0738	0,0738	-	-
15	17	7,5	160	200	0,53	0,0959	0,0948	0,0948	49,7495	2,6736
15	17	7,5	160	200	0,75	0,1253	0,1349	0,1349	-	-
15	17	7,5	160	200	0,94	0,2131	0,2104	0,2104	17,5085	1,4064
16	17	7,5	160	200	0,11	0,0522	0,0541	0,0541	125,9135	12,2775
16	17	7,5	160	200	0,33	0,0816	0,0718	0,0718	-	-
16	17	7,5	160	200	0,53	0,0843	0,0925	0,0925	50,253	0,9730
16	17	7,5	160	200	0,75	0,1333	0,1325	0,1325	-	-
16	17	7,5	160	200	0,94	0,2095	0,2092	0,2092	17,0815	4,2716
17	17	7,5	160	200	0,11	0,0524	0,0492	0,0492	129,8625	2,5025
17	17	7,5	160	200	0,33	0,0693	0,0658	0,0658	-	-
17	17	7,5	160	200	0,53	0,0818	0,0862	0,0862	50,6375	2,7457
17	17	7,5	160	200	0,75	0,1267	0,1275	0,1275	-	-
17	17	7,5	160	200	0,94	0,2159	0,2154	0,2154	20,8775	0,2029
22	17	5	160	200	0,11	0,0531	0,0515	0,0515	95,245	2,3123
22	17	5	160	200	0,33	0,0721	0,0688	0,0688	-	-
22	17	5	160	200	0,53	0,0879	0,0895	0,0895	50,2035	0,0120
22	17	5	160	200	0,75	0,1287	0,1310	0,1310	-	-
22	17	5	160	200	0,94	0,2168	0,2161	0,2161	18,855	0,7326

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ					ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ					
A/A	Υγρ. (X% wb)	Συγκ. καρότου (C%)	Θερμ. εκβολής (T °C)	Ταχ. περ. κοχλιών (rpm)	ΙΑΝ (g/g)	STDEV ΙΑΝ ±	ΙΑΝ (g/g)	STDEV ΙΑΝ ±	ΙΑΕ (g/g)	STDEV ΙΑΕ ±
1	20	10	140	150	0,1612	0,0609	6,4703	1,2038	0,6656	0,1084
2	20	10	140	250	0,1911	0,0730	6,6840	1,3313	0,8210	0,0347
3	20	5	140	250	0,1900	0,0880	7,0009	1,2384	0,9294	0,2044
4	20	5	140	150	0,1401	0,0702	7,1827	1,2530	0,8788	0,1353
5	17	7,5	140	200	0,2539	0,0670	5,6232	0,0832	0,6862	0,1148
6	14	10	140	150	0,2657	0,0524	5,1382	0,0824	0,6922	0,2065
7	14	10	140	250	0,3122	0,0687	5,2503	0,2439	0,7930	0,2346
8	14	5	140	250	0,2909	0,0404	6,4187	1,0193	0,7460	0,1894
9	14	5	140	150	0,2820	0,0473	5,5326	0,4817	0,6510	0,1108
10	20	7,5	160	200	0,1871	0,0255	5,9138	0,2471	0,7649	0,1968
11	17	10	160	200	0,2316	0,0320	5,4407	0,2207	0,8542	0,2889
12-13 (ΚΕΝΤΡΙΚΟ)	17	7,5	160	200	0,2432	0,0408	5,6833	0,1694	0,8992	0,0961
14	17	7,5	160	200	0,2487	0,0495	5,6551	0,1877	0,9312	0,1057
15	17	7,5	160	200	0,2156	0,0517	5,5743	0,3211	0,9017	0,0507
16	17	7,5	160	200	0,2419	0,0422	5,8577	0,2340	0,8797	0,0293
17	17	7,5	160	200	0,2970	0,0617	5,4688	0,1664	0,9451	0,0441
18	17	7,5	160	200	0,1985	0,0345	5,6433	0,3999	0,8735	0,0308
19	17	7,5	160	200	0,1934	0,0211	5,9449	0,3780	0,9023	0,0238
20	17	7,5	160	250	0,1701	0,0546	6,2320	0,4746	0,9282	0,0456
21	17	7,5	160	150	0,1920	0,0624	6,0272	0,3370	0,9862	0,0643
22	17	5	160	200	0,2542	0,0448	5,7041	0,3022	0,8906	0,0433
23	14	7,5	160	200	0,2901	0,0577	5,3154	0,1124	1,0361	0,1196
24	20	10	180	250	0,2557	0,0579	5,2993	0,0546	0,9877	0,0442
25	20	10	180	150	0,2722	0,0640	5,6751	0,0397	1,0952	0,0406
26	20	5	180	150	0,3228	0,0664	5,3864	0,1468	1,2296	0,0954

Α/Α ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ		ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ					
	Συγκέντρωση καρότου (C%)	Υγρασία (X% wb)	L	STDEV L ±	a	STDEV a ±	b	STDEV b ±
1	5	14	84,89	4,6841	8,12	1,2970	15,075	0,5393
2	5	17	83,73	2,9658	7,505	1,3712	14,1375	1,0972
3	5	20	83,1825	5,0788	5,84	0,4383	12,0375	0,4233
4	7.5	14	82,665	5,0696	10,1925	1,1184	16,0175	0,7645
5	7.5	17	80,3675	4,8362	9,315	1,4706	14,3175	0,2681
6	7.5	20	81,975	4,6488	7,7775	0,3565	13,41	0,4153
7	10	14	79,485	5,6274	11,7425	1,4670	16,9025	1,1433
8	10	17	78,565	4,9351	11,25	1,3122	16,095	0,7666
9	10	20	79,03	5,7330	10,37	0,6619	15,13	0,4592

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ					ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ							
A/A	Υγρ. (X% wb)	Συγκ. καρότου (C%)	Θερμ. εκβολής (T °C)	Ταχ. περ. κοχλιών (rpm)	L	STDEV L ±	a	STDEV a ±	b	STDEV b ±	ΔΕ	STDEV ΔΕ ±
1	20	10	140	150	71,0450	4,8319	10,6475	2,0588	35,3425	1,4184	21,9330	1,4576
2	20	10	140	250	70,3375	3,6364	11,7775	1,1754	36,6100	2,0765	23,6419	2,8396
3	20	5	140	250	73,5950	4,2512	7,9875	1,9590	33,5550	0,8264	23,7588	0,5727
4	20	5	140	150	70,3775	5,4649	8,3250	2,0343	32,9650	0,3838	24,8455	1,5852
5	17	7,5	140	200	73,4150	2,3240	8,7725	0,8006	34,1725	1,5170	21,7586	1,9690
6	14	10	140	150	66,6500	3,0256	11,5775	0,5597	32,4475	1,0159	21,1914	3,5973
7	14	10	140	250	66,4250	4,0912	11,2700	0,7745	30,5700	1,6527	20,2978	4,3329
8	14	5	140	250	65,8975	2,5521	9,5675	1,1598	28,8300	1,5618	23,9876	4,6358
9	14	5	140	150	66,0375	3,5216	9,6325	1,4654	28,1550	3,0107	23,8238	4,9326
10	20	7,5	160	200	72,1875	2,1421	8,3125	0,9894	32,7900	1,3943	21,8910	1,0410
11	17	10	160	200	72,5275	2,5199	9,2300	0,9774	32,6650	0,9863	18,2728	0,6001
12-13 (ΚΕΝΤΡΙΚΟ)	17	7,5	160	200	73,1338	1,9921	8,4688	0,6011	32,0625	1,0277	19,6880	1,6199
14	17	7,5	160	200	71,6950	2,7487	9,5850	0,1552	33,4325	1,5802	21,5925	2,1832
15	17	7,5	160	200	72,5950	2,0730	8,8350	0,7434	32,7850	1,4033	20,5517	1,2819
16	17	7,5	160	200	73,2400	1,8111	7,2750	0,3950	30,9675	1,0590	19,9578	2,6227
17	17	7,5	160	200	68,8525	1,7047	9,3475	0,6793	29,8325	0,9759	20,0912	2,9092
18	17	7,5	160	200	73,8275	2,0807	8,8600	0,6662	33,4250	1,4787	19,5342	1,5310
19	17	7,5	160	200	73,0575	2,7424	8,7150	0,1805	31,1450	0,7640	18,0527	1,9029
20	17	7,5	160	250	75,3775	1,9008	6,8400	0,5767	29,7150	1,2603	19,8551	1,4590
21	17	7,5	160	150	76,7000	2,9925	6,7350	0,7167	31,3450	0,9221	20,7674	1,7878
22	17	5	160	200	74,7650	1,8297	7,3875	0,4021	29,7525	1,5316	17,0461	0,8692
23	14	7,5	160	200	73,1100	2,3857	8,1050	0,4467	28,9625	1,5670	15,2541	1,0329
24	20	10	180	250	70,9075	2,3963	8,5875	0,4661	28,1800	1,2676	15,2281	1,5883
25	20	10	180	150	74,3500	1,9843	6,8950	0,7117	26,5475	1,5589	15,9940	1,8133
26	20	5	180	150	72,7200	2,8999	7,0625	0,4381	26,3150	1,5560	16,9271	2,0297

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ					ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ								
A/A	Υγρ. (X% wb)	Συγκ. καρότου (C%)	Θερμ. εκβολής (T °C)	Ταχ. περ. κοχλιών (rpm)	Φαινόμενη πυκνότητα ρ_a (g/cm ³)	STDEV ρ_a (g/cm ³) ±	ρ_a Μοντέλου (g/cm ³)	Πορώδες ϵ	STDEV ϵ ±	ϵ Μοντέλου	Συν. Διόγ. E	STDEV E ±	E Μοντέλου
1	20	10	140	150	0,6244	0,2331	0,6151	0,5712	0,1604	0,5835	1,7404	0,2669	1,9185
2	20	10	140	250	0,5115	0,1812	0,4828	0,6504	0,1254	0,6731	2,0144	0,4187	2,1554
3	20	5	140	250	0,3769	0,1396	0,4429	0,7423	0,0956	0,7001	2,3812	0,5741	2,3783
4	20	5	140	150	0,6256	0,2764	0,5642	0,5737	0,1856	0,6180	1,9066	0,4825	2,1169
5	17	7,5	140	200	0,3323	0,0913	0,3503	0,7741	0,0624	0,7629	2,4132	0,3084	2,3783
6	14	10	140	150	0,2516	0,0441	0,2654	0,8295	0,0298	0,8203	2,4863	0,2031	2,3861
7	14	10	140	250	0,1851	0,0259	0,2083	0,8771	0,0186	0,8590	2,8154	0,3072	2,9580
8	14	5	140	250	0,1917	0,0157	0,1911	0,8664	0,0143	0,8706	2,9660	0,1198	2,6329
9	14	5	140	150	0,2299	0,0427	0,2435	0,8437	0,0294	0,8352	2,6893	0,2170	1,9889
10	20	7,5	160	200	0,3790	0,0756	0,3961	0,7417	0,0508	0,7318	1,9344	0,2086	2,0899
11	17	10	160	200	0,2769	0,0553	0,2822	0,8119	0,0370	0,8089	2,0649	0,1729	2,1968
12-13 (ΚΕΝΤΡΙΚΟ)	17	7,5	160	200	0,2600	0,0485	0,2701	0,8330	0,0313	0,8171	2,3141	0,2750	2,1968
14	17	7,5	160	200	0,2544	0,0518	0,2430	0,8278	0,0344	0,8355	2,4248	0,2559	2,3114
15	17	7,5	160	200	0,2985	0,0707	0,3096	0,7983	0,0492	0,7904	2,1640	0,1989	2,0574
16	17	7,5	160	200	0,2474	0,0469	0,2588	0,8324	0,0320	0,8248	2,3890	0,2616	2,3061
17	17	7,5	160	200	0,1815	0,0298	0,1709	0,8774	0,0198	0,8843	2,3594	0,1803	2,4737
18	17	7,5	160	200	0,3275	0,0680	0,2960	0,7726	0,0480	0,7996	1,9945	0,2562	1,8563
19	17	7,5	160	200	0,3138	0,0573	0,3772	0,7934	0,0406	0,7446	1,7341	0,1516	1,6523
20	17	7,5	160	250	0,3178	0,0880	0,3460	0,7576	0,0764	0,7658	1,8542	0,2084	1,8231
21	17	7,5	160	150	0,3138	0,1003	0,2716	0,7831	0,0719	0,8161	2,1496	0,2861	2,0483
22	17	5	160	200	0,2174	0,0507	0,2148	0,8540	0,0358	0,8546	2,1077	0,1907	2,0482
23	14	7,5	160	200	0,1708	0,0305	0,1277	0,9026	0,0093	0,9135	2,1587	0,1697	2,3087
24	20	10	180	250	0,1967	0,0334	0,1627	0,8719	0,0215	0,8898	1,9718	0,1359	2,0550
25	20	10	180	150	0,1636	0,0225	0,1493	0,8904	0,0151	0,8989	2,3171	0,1485	2,2675
26	20	5	180	150	0,1494	0,0195	0,1172	0,8980	0,0135	0,9207	2,3332	0,1080	2,5475

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΥΛΙΚΩΝ**

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

A/A	Υγρασία (X% wb)	Συγκ. καρότου (C%)	Θερμ. εκβολής (T °C)	Ταχ. περ. κοχλίων (rpm)	Ομοιομορφία	Διόγκωση	Πορώδες	Ευχάριστη γεύση	Καμένο	Γεύση Καρότου	Τραχανόπητα	Σκληρότητα	Ενυδάτωση	Συγκολλητικά	Συνολική βαθμολογία
3	20	5	140	250	5,83±1,17	2,67±1,36	4,17±1,72	3±2,19	1±0,00	4,4±3,44	2,33±1,51	7,5±1,38	3,33±2,34	5,67±2,34	2,33±1,03
5	17	7,5	140	200	4±1,20	6,4±2,07	6,6±2,3	4,4±1,34	1,4±0,89	5,2±3,03	4,2±2,49	6,7±1,72	3,2±0,84	5,4±2,61	3,6±1,95
6	14	10	140	150	7,58±1,02	5,17±1,29	5,17±0,75	6,17±2,56	2±2,00	5,2±2,49	6,5±1,05	4,25±1,72	5,08±1,91	4,67±2,07	6,25±1,99
7	14	10	140	250	7,5±1,00	6,17±0,75	6±0,89	8,33±0,82	1,33±0,82	5±2,12	5,58±2,46	2,67±1,37	6,33±1,97	3,92±2,33	8,13±0,80
8	14	5	140	250	3,5±1,76	8,17±0,82	7,17±2,79	4,92±1,69	1,33±0,52	2,6±1,34	4,83±2,93	5,08±2,01	4,42±2,62	4,83±1,83	4,33±1,63
9	14	5	140	150	3,67±0,82	7,5±0,55	7±2,45	4,17±1,94	1,5±1,22	2,2±1,30	5±2,21	5,5±2,26	3,75±1,94	5,33±2,42	3,5±1,38
10	20	7,5	160	200	5,4±1,67	4±1,58	5,1±2,07	3,6±1,14	1,4±0,89	4,2±2,86	3,4±1,14	6,2±1,92	3±2,35	6±1,58	3,2±0,84
11	17	10	160	200	6±1,41	3,9±1,67	4,8±1,92	5,8±2,05	2±1,41	4,5±2,96	4,4±1,14	3,5±1,32	4,6±1,52	2,8±1,30	6,3±1,72
12-13 (ΚΕΝΤΡΙΚΟ)	17	7,5	160	200	6±1,18	4,2±1,03	5,23±1,72	5,59±1,53	1,73±1,85	4,05±2,39	5,64±1,67	4,64±1,98	4,55±1,69	5,17±2,21	5,14±1,42
14	17	7,5	160	200	6,6±1,52	6,6±2,07	7,3±0,67	6,2±1,30	1,4±0,89	4,1±1,34	5,6±1,82	4,4±1,52	4,2±1,64	3,9±2,51	6,1±1,75
15	17	7,5	160	200	6,2±1,92	4,5±1,66	5,2±0,84	2,7±1,40	2±1,41	2,6±1,14	4,7±0,97	5,7±0,67	3,3±0,84	4,7±2,11	4,5±0,50
16	17	7,5	160	200	5,8±1,48	6,3±1,92	6±2,00	3,8±1,10	1,4±0,89	2,2±1,64	5,1±1,02	5,5±0,50	3,5±1,58	4,1±1,67	4,4±1,14
17	17	7,5	160	200	8±0,71	6,5±1,12	4,8±2,17	7,9±0,74	2±1,73	5,4±2,51	5,4±1,67	2,4±1,14	6,6±1,52	4,9±2,88	8±0,71
18	17	7,5	160	200	6,8±1,60	3,8±1,10	4±1,90	5,3±2,11	2,2±2,17	4±2,58	5,4±2,88	6,66±1,59	3,7±1,30	6,5±0,50	4,7±1,64
19	17	7,5	160	200	5,8±1,64	2,4±1,14	5±1,58	4,3±1,57	3,4±1,95	3,25±1,05	5,6±2,70	5,5±1,73	3,9±0,89	6±1,87	4,9±1,19
20	17	7,5	160	250	5,76±2,14	3,8±1,79	4,4±2,07	3±1,41	2±2,24	3,25±2,22	4,3±2,99	7,3±1,72	3±1,87	6,9±1,88	2,8±0,84
21	17	7,5	160	150	5,4±2,07	4,1±2,30	5,4±2,07	3,6±2,07	1,8±1,79	3,25±2,63	4,5±2,50	6,36±1,80	3,3±1,30	6,1±2,07	3,4±1,34
22	17	5	160	200	5,2±2,39	4,6±1,14	3,2±1,30	5,6±2,61	4,3±3,03	2,2±0,84	5,6±1,82	3,1±1,34	6,4±0,89	4,2±1,92	5,4±2,61
23	14	7,5	160	200	7,4±0,57	5,88±1,92	4,4±2,88	7,4±1,95	1,7±1,57	4±1,83	5,5±3,32	3,2±2,77	6,7±1,20	4,7±1,92	7,5±2,00
24	20	10	180	250	7,2±1,30	4,56±1,34	4,1±2,97	6,64±2,09	3,32±2,37	3,5±2,38	5,8±2,28	2,7±0,84	6±1,41	5±1,22	6,74±1,35
25	20	10	180	150	6,46±1,85	7±0,94	5±2,55	6,4±1,14	1,6±0,89	2±1,41	6,2±1,64	2,2±0,45	7,2±1,64	5,6±1,95	6,7±0,84
26	20	5	180	150	6,38±1,46	7,8±1,30	5,6±2,07	7±1,73	1,2±0,45	1,75±0,50	6,4±1,34	2,5±1,12	6,8±1,10	5,1±1,82	6,9±0,65

