



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Καμπύλες ρόφησης και εκρόφησης αλεύρων
σίτου χαμηλής κοκκομετρίας, λόγω άλεσης με
πεπιεσμένο αέρα**

ΒΑΣΤΑΡΔΗ ΜΑΡΙΑ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α.**

ΑΘΗΝΑ, 2014

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΡΟΦΗΣΗΣ ΑΛΕΥΡΩΝ ΣΙΤΟΥ
ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ, ΛΟΓΩ ΑΛΕΣΗΣ ΜΕ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ
ΑΕΡΑ»

ΒΑΣΤΑΡΔΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α. (επιβλέπουσα)

ΓΙΑΝΝΙΩΤΗΣ Σ., Καθηγητής Γ.Π.Α

ΣΤΟΦΟΡΟΣ Ν., Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σιτάρι αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες του αιώνα μας και μια από τις κυριότερες πηγές διατροφής ανά τον κόσμο. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ξεπερνά τα 153 kg. Η παραγωγή σιταριού είναι η κορυφαία όλων των υπολοίπων σπόρων δημητριακών σε παγκόσμια κλίμακα, με 67% της παραγωγής αυτής να αξιοποιείται σε προϊόντα διατροφής. Το γεγονός ότι οι συνθήκες συντήρησης του αλεύρου παίζουν μεγάλο ρόλο στο χρόνο διατήρησης και την αποφυγή αλλοιώσεων των φυσικών, χημικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του, αποτέλεσε τη βάση για να μας απασχολήσουν οι ισόθερμες ρόφησης.

Δεδομένου ότι, από ενεργότητες $a_w > 0,6$ αναπτύσσονται οι περισσότεροι μικροοργανισμοί, σημαντική παράμετρος είναι ο προσδιορισμός της υγρασίας που προσροφάται από το αλεύρι σε ξηρή βάση, κατά τη διάρκεια της συσκευασίας. Συσκευάζοντας το άλευρο στην τιμή της υγρασίας που αντιστοιχεί στο μονομοριακό στρώμα μπορούμε να μεγιστοποιήσουμε τη διάρκεια ζωής του. Τα συστατικά του αλεύρου που ανταγωνίζονται για το νερό είναι τόσο το άμυλο (78-82% του αλεύρου) όσο και η γλουτένη (9% του αλεύρου).

Σκοπός της τρέχουσας μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η εξέταση των διαφορών των ισόθερμων προσρόφησης και εκρόφησης σε άλευρο μαλακού σίτου μπισκοτοποιίας και ολικής άλεσης, με την μείωση της κοκκομετρίας, κατά τη χρήση της τεχνολογίας «jet mill». Τα πειραματικά αποτελέσματα εξετάστηκαν με βάση το θεωρητικό μοντέλο GAB και ενώ υπήρξε ταύτιση των πειραματικών με τα θεωρητικά δεδομένα, δεν παρουσιάστηκε κάποια συσχέτιση μεταξύ της μείωσης της κοκκομετρίας και της μεταβολής των ιδιοτήτων ρόφησης.

Εξετάστηκαν επιπλέον τα ποσοστά υγρασίας, τέφρας, γλουτένης, πρωτεΐνης και συγκράτησης νερού και των τεσσάρων δειγμάτων, του αλεύρου μπισκοτοποιίας ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» και του ολικής άλεσης ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» με τη μέθοδο COST-90. Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Statgraphics Centurion XVII.2012. Η συγκράτηση υγρασίας αυξάνεται και η υγρασία του αλεύρου μειώνεται, όσο η κοκκομετρία μειώνεται. Η τιμή του μονομοριακού στρώματος, στην οποία είναι αποτελεσματικό να συσκευάζεται το αλεύρι μπισκοτοποιίας χαμηλής κοκκομετρίας είναι 7,42% ξ.β. και το αλεύρι ολικής άλεσης χαμηλής κοκκομετρίας είναι 7,37% ξ.β., ώστε τα μόρια νερού να έχουν την ελάχιστη δυνατή κινητικότητα.

Λέξεις κλειδιά: Ισόθερμες καμπύλες, προσρόφηση, εκρόφηση, μαλακό αλεύρι σίτου, χαμηλή κοκκομετρία, μύλος πεπιεσμένου αέρα.

Αθήνα, 2014.

ABSTRACT

Cultivation of wheat is considered to be as one of the most important sources of food all over the world. The consumption per capital overcomes 153 kg. Wheat is the leading cereal grains produced in the world and the 67% of world's production used for food. The fact that the conservation's conditions play a major part in the time that wheat is preserved, the spoilage is avoided and the conservation of its physical, chemical and organoleptic characteristics, was the motive to deal with sorption isotherms.

As most microorganisms would grow in foods of water activity $a_w > 0,6$, the estimation of sorption isotherms on a dry basis plays a major part on packaging. By packaging the wheat at its monolayer sorption value and keeping it there will maximize the shelf life. The major components of wheat flour that compete for the available water is starch (78-82% of flour) and gluten (9% of flour).

The main purpose of this study was to examine the difference between the sorptive capacity, adsorption and desorption of soft biscuit wheat flour, normal and whole grain, by reducing its particle size with jet mill technology. Although the experimental results were compared with theoretical results of GAB model and there was a very good match, there was no conclusion of correlation between the reduction of grains particle size and waters sorptive capacity of particles.

The water percentage on wet basis, ash percentage, gluten, protein and water holding capacity have also been examined in four different samples, the control biscuit flour, the biscuit flour of jet mill technology, the whole grain control flour and the whole grain flour of jet mill technology. The recommendation which were followed were those of Project Group COST-90. Statgraphics Centurion XVII.2012 was used for statistical analysis. The water holding capacity is increasing as the particle size is decreasing. The monolayer value which represents the maximum humidity level in which the biscuit flour of small particle size should be packed is 7,42% d.b. and the wholegrain flour should be packed in 7,37% d.b., thus the mobility of water molecules will be minimized.

Key words: Sorption isotherms, adsorption, desorption, soft wheat flour, small particle size, jet mill.

Athens, 2014.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την επίβλεψη της Επίκουρου Καθηγήτριας Μαντάλα Ιωάννας.

Για την διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα επίκουρο καθηγήτρια κα. Μαντάλα Ι. για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε, την καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράστασή της μέχρι τη διεκπεραίωση αυτής της μελέτης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης θερμά την υποψήφια διδάκτωρ Στέλλα Πρωτονοταρίου για την καθοδήγησή της, την μεταβίβαση γνώσεων και την πειραματική καθοδήγηση καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης των ερευνητικών εργασιών στο εργαστήριο. Θα ήθελα επιπροσθέτως να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Γιαννιώτη Σ. και Στοφόρο Ν. για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν από το πρώτο έτος των σπουδών στο μεταπτυχιακό τμήμα, μέχρι και σήμερα, οι οποίες με βοήθησαν στην κατανόηση βασικού μέρους πληροφοριών της μελέτης.

Θερμές ευχαριστίες σε όλο το Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων και στη Χριστίνα, στη Λέα, στη Μαίρη και στη Μαρία για την άψογη συνεργασία τους. Και βέβαια τελευταία αλλά όχι λιγότερο σημαντική η αναφορά μου στον κ. Μανώλη και τον κ. Παναγιώτη που μου έδωσαν κίνητρο, όπως και στον Δ/ ντη μου και τον Υπδ/ντη του Ι.Ε.Κ. στο Μαρούσι για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΠΟΡΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ	12
1.1 ΔΟΜΗ ΣΠΟΡΟΥ	12
1.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΠΟΡΟΥ	12
1.2.1 Πρωτεΐνες	12
1.2.2 Άμυλο και μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες	16
1.2.3 Λιπίδια	17
2. ΚΛΑΣΕΙΣ ΣΙΤΗΡΩΝ	19
2.1 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΚΛΗΡΟΥ ΚΑΙ ΜΑΛΑΚΟΥ ΣΙΤΟΥ	19
2.2 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΚΛΑΣΕΙΣ ΣΙΤΗΡΩΝ	19
3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΕΣΜΑΤΟΣ	22
3.1 ΣΤΑΔΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΛΕΣΗΣ	22
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΕΣΗΣ –JET MILLING	25
3.3 ΤΥΠΟΙ ΑΛΕΥΡΟΥ	27
3.4 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΛΕΥΡΟΥ	28
3.4.1 Γλουτένη	28
3.4.2 Άμυλο	29
3.4.3 Άλλα συνδετικά μόρια του νερού στο αλεύρι και τα λιπίδια	29
4. ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ	31
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ	31
4.2 ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΡΟΦΙΜΟΥ	32
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ (A_w)	34
4.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ COST-90	38
4.5 ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ	38
4.5.1 Μαθηματικά μοντέλα για τις ισόθερμες	38
4.5.1.1 Μαθηματικά μοντέλα των BET και GAB	38
4.5.1.2 Μαθηματικά μοντέλα γενικεύσεων της GAB	42
4.5.2 Περιοχές ισόθερμης	45
4.5.3 Ταξινόμηση ισόθερμων	48
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	51
5.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	51
5.1.1 Προσδιορισμός Τέφρας	51
5.1.2 Προσδιορισμός υγρασίας	53
5.1.3 Προσδιορισμός υγρής –ξηρής γλουτένης	54
5.1.4 Προσδιορισμός συγκράτησης νερού (WHC)	56
5.1.5 Προσδιορισμός του ολικού αζώτου / πρωτεΐνης με τη μέθοδο Kjeldahl	58
5.1.6 Προσδιορισμός ισόθερμων καμπυλών	61
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	64
5.2.1 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού τέφρας	64

5.2.2	Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας	65
5.2.3	Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού υγρής –ξηρής γλουτένης.....	67
5.2.4	Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού συγκράτησης νερού (WHC).....	68
5.2.5	Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού της ολικής πρωτεΐνης	69
5.2.6	Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού ισόθερμων καμπυλών	70
5.3	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΥΠΩΝ ΑΛΕΥΡΩΝ	77
6.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	82
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

Σχήμα 1.2.1: Διαγραμματική κατά μήκος τομή του σπόρου του σιταριού. 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Σχήμα 3.1.1.: Διάγραμμα ροής για την παραγωγή αλεύρου, από την τροφοδοσία, μέχρι το τελικό κοσκίνισμα. 23

Σχήμα 3.1.2: Διάταξη κυλινδρόμυλων. 24

Σχήμα 3.2.1: Περιφερικά μηχανήματα Jet mil –συμπιεστήρας, φίλτρο και δεξαμενή αέρα. 26

Σχήμα 3.2.2: Κεντρικό μηχανήμα Jet mil. 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

Σχήμα 4.5.1.1: Η προσρόφηση είναι εξώθερμη αντίδραση $\Delta h < 0$ και ευνοείται από τη μικρότερη θερμοκρασία. 42

Σχήμα 4.5.2.1: Ισόθερμη ρόφησης για ένα τυπικό τρόφιμο, όπου παρουσιάζεται η υστέρηση μεταξύ προσρόφησης και εκρόφησης. 46

Σχήμα 4.5.3.1: Τύποι των ισόθερμων καμπύλων κατά «Brunauer» 49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

Σχήμα 5.1.1.1: Χωνευτήρια πορσελάνης. 51

Σχήμα 5.1.1.2: Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο. 51

Σχήμα 5.1.1.3: Αναλυτικός ζυγός KERN ABS. 52

Σχήμα 5.1.1.4: Αποτεφρωτήρας VULCAN 3-550 NEY. 52

Σχήμα 5.1.2.1: Ξηραντήριο όπου τοποθετούνται τα φιαλίδια μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. 54

Σχήμα 5.1.3.1: Κόσκινο 0,129 mm για να συγκρατεί τη γλουτένη κατά την έκπλυση του ζυμαριού. 55

Σχήμα 5.1.3.2: Πυριαντήριο MEMMERT. 55

Σχήμα 5.1.4.1: Φυγόκεντρος ECONOSPIN. 57

Σχήμα 5.1.4.2: Vortex VELP SCIENTIFICA. 57

Σχήμα 5.1.4.3: Δοκιμαστικοί σωλήνες με το υπόλειμμα. 57

Σχήμα 5.1.5.1: Συσκευή υγρής καύσης. 59

Σχήμα 5.1.5.2: Συσκευή απόσταξης Kjeltex 8100, FOSS. 59

Σχήμα 5.1.6.1: Γυάλες για τη δημιουργία περιβάλλοντος σταθερής σχετικής υγρασίας (όπου 1: γυάλινος περιέκτης, 2: φιαλίδια ζυγίσεως και 3: κορεσμένο διάλυμα άλατος). 63

Σχήμα 5.1.6.2: Υδατόλουτρο για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας. 63

Δ/μα 5.2.6.1: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποίησης. 71

Δ/μα 5.2.6.2: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποίησης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης. 73

Δ/μα 5.2.6.3: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής.	74
Δ/μα 5.2.6.4: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.	76
Δ/μα 5.3.1: Σύγκριση προσρόφησης στο αλεύρι μπισκοτοποιίας ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.	78
Δ/μα 5.3.2: Σύγκριση εκρόφησης στο αλεύρι μπισκοτοποιίας ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.	78
Δ/μα 5.3.3: Σύγκριση προσρόφησης στο αλεύρι ολικής άλεσης ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.	79
Δ/μα 5.3.4: Σύγκριση εκρόφησης στο αλεύρι ολικής άλεσης ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.	79

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

Πίνακας 1.2.1: Τα αμινοξέα της γλουτένης με βάση τη διαλυτότητά τους.	15
Πίνακας 1.2.3: Η κατανομή των λιπιδίων του σιταριού στους ιστούς του σπόρου (% του συνόλου των λιπιδίων).	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

Πίνακας 3.4.3.1.: Η ποσότητα νερού στο ζυμάρι σε ξηρή και βάση και σε 100 g αλεύρου.	30
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

Πίνακας 4.1: Τιμές της σταθεράς k της εξίσωσης (4.1.4.), για διάφορα διαλυτά συστατικά.	32
Πίνακας 4.2.: Τιμές διακύμανσης της ενεργότητας νερού για κάποιες από τις πιο γνωστές κατηγορίες τροφίμων.	34
Πίνακας 4.3.1.: Μέθοδοι προσδιορισμού ισόθερμων ρόφησης.	34
Πίνακας 4.3.2.: Ενεργότητα νερού σε ορισμένα κορεσμένα διαλύματα αλάτων.	36
Πίνακας 4.3.3.: Ενεργότητα νερού σε διαλύματα θειικού οξέος.	37
Πίνακας 4.3.4: Άλατα που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της πρότυπης καμπύλης της μικροκρυσταλλικής.	38
Πίνακας 4.5.3.1: Πίνακας βασικών χαρακτηριστικών των ισόθερμων σε κάθε τύπο.	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

Πίνακας 5.2.1.1: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) τέφρας στα δείγματα αλεύρων μπισκοτοποιίας και αλεύρων που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill».	65
Πίνακας 5.2.2.1: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) υγρασίας στα δείγματα αλεύρων μπισκοτοποιίας που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill» σε σχέση με τον αρχικό τύπο.	66
Πίνακας 5.2.2.2: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) υγρασίας στα δείγματα αλεύρων ολικής άλεσης που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill» σε σχέση με τον αρχικό τύπο.	66
Πίνακας 5.2.3.1: Ποσοστό (%) υγρής και ξηρής γλουτένης αλεύρου μπισκοτοποιίας σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .	67
Πίνακας 5.2.3.2: Ποσοστό (%) υγρής και ξηρής γλουτένης αλεύρου ολικής άλεσης σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .	68
Πίνακας 5.2.4.1: Ποσοστιαία (%) ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) αλεύρου μπισκοτοποιίας και ολικής σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .	69
Πίνακας 5.2.5.1: Ποσοστό πρωτεΐνης (%) στο άλευρο μπισκοτοποιίας με και χωρίς επεξεργασία «jet mill» .	69

Πίνακας 5.2.5.2: Ποσοστό πρωτεΐνης (%) στο άλευρο ολικής άλεσης με και χωρίς επεξεργασία «jet mill» .	70
Πίνακας 5.2.6.1: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποιίας (g/ 100 g d.m.).	70
Πίνακας 5.2.6.2: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.	72
Πίνακας 5.2.6.3: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποιίας που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (g/ 100 g d.m.).	72
Πίνακας 5.2.6.4: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.	74
Πίνακας 5.2.6.5: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης (g/ 100 g d.m.).	74
Πίνακας 5.2.6.6: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.	75
Πίνακας 5.2.6.7: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (g/ 100 g d.m.).	75
Πίνακας 5.2.6.8: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.	76
Πίνακας 5.3.1: Τιμές των παραμέτρων K, C, Wm κατά την προσρόφηση.	80
Πίνακας 5.3.2: Τιμές των παραμέτρων K, C, Wm κατά την εκρόφηση.	80

1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΠΟΡΟΥ ΣΙΤΑΡΙΟΥ

1.1 Δομή σπόρου

Ο σπόρος των δημητριακών αποτελείται από τρεις κύριους ιστούς, το έμβρυο, το ενδοσπέρμιο και το στρώμα της αλευρόνης που περιβάλλει το ενδοσπέρμιο. (Σχ. 1.2.1) Ανατομικά, η δομή των σπόρων των διαφόρων δημητριακών είναι παρόμοια με ελάχιστες διαφορές. Έτσι, ο σπόρος στο σιτάρι, όπως και στο καλαμπόκι περιβάλλεται από το φλοιό και το περικάρπιο. Το ενδοσπέρμιο αποτελεί το 80% του βάρους του σπόρου, το στρώμα της αλευρόνης το 8%, το περικάρπιο και ο φλοιός το 8,5% και τέλος το έμβρυο το 3,5%.

Η καλλιέργεια του σιταριού είναι μια από τις πιο διευρυμένες καλλιέργειες σε παγκόσμια κλίμακα και η παραγωγή του ξεπέρασε το 2009 τους 650 εκατομμύρια τόνους. Η μέση ετήσια κατανάλωση για ανθρώπινη χρήση ξεπερνά τα 1.000 εκατομμύρια τόνους, με την κατά κεφαλήν κατανάλωση να ξεπερνά τα 153 kg κατά άτομο (FAO, 2009). Η παραγωγή σιταριού είναι η κορυφαία όλων των υπολοίπων σπόρων δημητριακών σε παγκόσμια κλίμακα, με 67% της παραγωγής αυτής να αξιοποιείται σε προϊόντα διατροφής, 20% ως προϊόν σίτισης ζώων και ένα ποσοστό 7% στη σπορά (El-Porai et al., 2013).

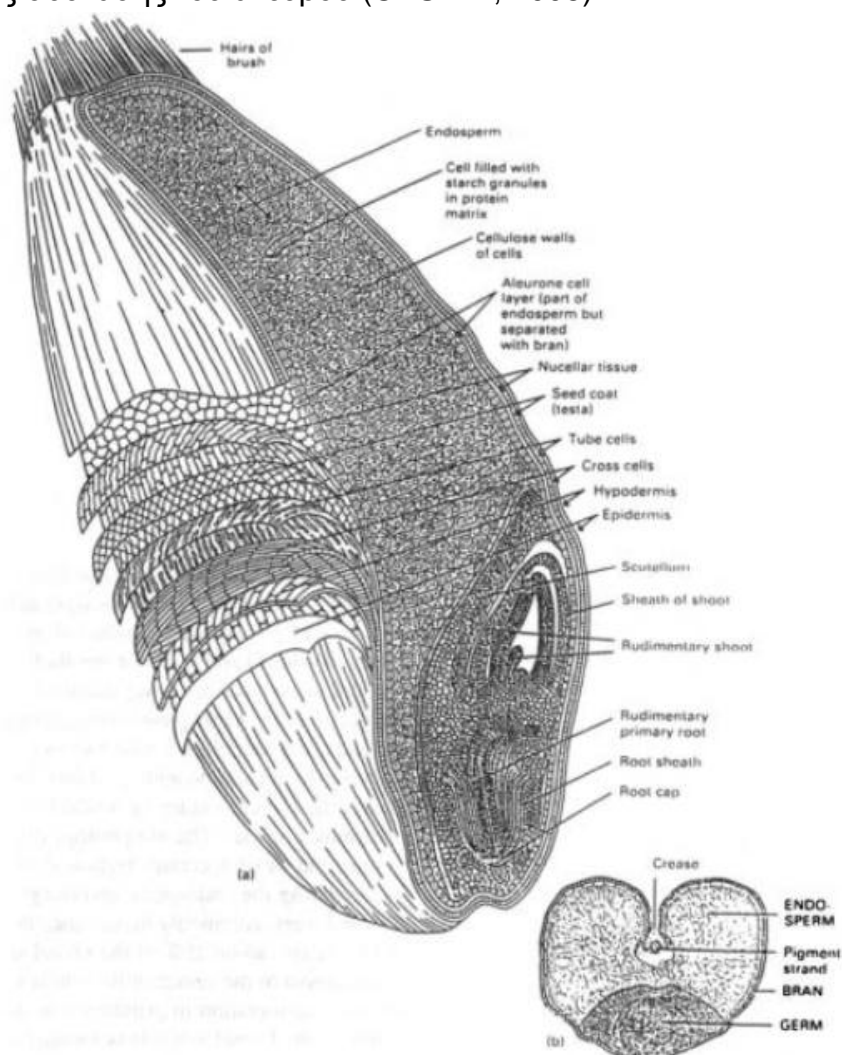
Τα προϊόντα σίτου συνίστανται λόγω της περιεκτικότητάς τους σε φυτικές ίνες, ανόργανα στοιχεία (όπως K, P, Mg, Zn και Mn) καθώς και βιταμίνες του συμπλέγματος B (θειαμίνη, νιασίνη, πυριδοξίνη και σε μικρότερη ποσότητα ριβοφλαβίνη), βιταμίνη E και φολικό οξύ (Martin-Santos et al. 2012). Τα πιο πολλά από τα θρεπτικά συστατικά βρίσκονται στο περικάρπιο και στον φλοιό που αποτελούνται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη. Περιέχουν επίσης διοξειδίο του πυριτίου και τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες του συμπλέγματος B, όπως η B1 (θειαμίνη). Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει 9% φυτικές ίνες (Τσακαλίδου, Ε., 2013; CESNID, 2008).

1.2 Σύσταση του σπόρου

1.2.1 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες συνήθως αποτελούν 7 – 15% της σύστασης του κοινού αλεύρου με 14% υγρής βάσης. Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει 11,5% πρωτεΐνες. Η ταξινόμηση των πρωτεϊνών του σιταριού και άλλων σπόρων βασίστηκε στο σύστημα ταξινόμησης που καθιέρωσε ο Thomas Osborne στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, με βάση τη διαλυτότητα και το μέσο διάλυσής τους. Οι υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες, όπως είναι και πολλά από τα ένζυμα του σιταριού,

ονομάζονται αλβουμίνες. Οι αλβουμίνες αποτελούν το 15% των πρωτεϊνών του αλεύρου. Άλλα ένζυμα είναι οι γλοβουλίνες, οι οποίες είναι πρωτεΐνες που διαλύονται σε διάλυμα άλατος. Οι γλοβουλίνες αποτελούν το 3% της πρωτεϊνικής σύστασης του αλεύρου (CESNID, 2008).



Σχήμα 1.2.1: Διαγραμματική κατά μήκος τομή του σπόρου του σιταριού (Πηγή: Posner, E.S., 2000, p.2).

Οι προλαμίνες είναι πρωτεΐνες γενικά των δημητριακών και διαλύονται σε υδατικό διάλυμα 70% αιθανόλης. Η γλιαδίνη, η οποία ανήκει στις προλαμίνες είναι ένας από τους δύο σημαντικούς παράγοντες που αποτελούν τη γλουτένη του σίτου και αποτελεί το 33% του συνόλου των πρωτεϊνών του αλεύρου και 40-45% της γλουτένης (Riganakos, K. and Kontominas, M., 1997). Η γλουτένη αναφέρεται στην ελεύθερη αμύλου, ιξώδη, ελαστική, πρωτεϊνική φύσεως μάζα (Τσακαλίδου, E., 2013). Ο άλλος παράγοντας σύστασης της γλουτένης είναι η γλουτενίνη, η οποία ταξινομείται στις γλουτελίνες. Η γλουτελίνες είναι πρωτεΐνες που είναι διαλυτές σε όξινα και ελαφρά αλκαλικά διαλύματα. Η γλουτενίνη αποτελεί το 16% των πρωτεϊνών του αλεύρου και το 20-25% της γλουτένης. Η γλουτενίνη έχει περισσότερες υδρόφιλες ομάδες από τη γλιαδίνη. Πέρα από τη γλιαδίνη και τη γλουτενίνη, η

γλουτένη αποτελείται κατά 35-40% από αδιάλυτη γλουτενίνη. Υπάρχουν και πρωτεΐνες που είναι αδιάλυτες σε όλους τους παραπάνω διαλύτες, οι οποίες αποτελούν το 33% του συνόλου των πρωτεϊνών (Riganakos, K. and Kontominas, M., 1997).

Τα αμινοξέα είναι οι συνδετικοί κρίκοι μεταξύ των πρωτεϊνών. Είκοσι από αυτά υπάρχουν φυσικά στις περισσότερες από τις πρωτεΐνες και το κάθε ένα από αυτά περιέχει μια αμινο-τελικό άκρο, ένα καρβοξυ-τελικό άκρο και μια πλευρική ομάδα (ομάδα R). Τα αμινο-τελικά άκρα και τα καρβοξυ-τελικά άκρα των αμινοξέων συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας πεπτιδικούς δεσμούς. Η αλληλουχία των αμινοξέων στην πρωτεϊνική αλυσίδα ονομάζεται πρωτοταγή δομή της πρωτεΐνης. Η πλευρική ομάδα R που δεν επηρεάζει τον πεπτιδικό δεσμό, αλλά παίζει ρόλο στον τρόπο που η πρωτεΐνη αλληλεπιδρά με τις γύρω πρωτεϊνικές αλυσίδες και τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος (Atwell, W.A., 2001).

Οι γλιαδίνες του σιταριού είναι ένα ετερογενές πρωτεϊνικό μίγμα, δηλαδή αποτελούνται από διαφορετικές αλληλουχίες αμινοξέων. Το κυρίαρχο αμινοξύ είναι η γλουταμίνη, το οποίο εντοπίζεται κυρίως στα πρώτα δύο τρίτα (2/3) του μορίου τους. Μάλιστα, περίπου στο κέντρο του μορίου της α- και β-γλιαδίνης υπάρχει μια αλληλουχία 18 μορίων γλουταμίνης, η οποία μειώνει την πεπτιδικότητα των γλιαδινών. Ανάλογα με το είδος των 20-40 πρωτεϊνικών μορίων που αποκαλύπτονται με αναλυτικές μεθόδους, όπως αυτές της ηλεκτροφόρησης RP- HPLC, μπορούν τα ταυτοποιηθούν και οι ποικιλίες σιταριού. Οι τύποι των αλυσίδων γλιαδίνης είναι τέσσερις (α-, β-, γ- και ω-) και αποτελούν πρωτεϊνικά μόρια, τα οποία μπορούν να απομονωθούν ως μεμονωμένες πολυπεπτιδικές αλυσίδες (Τσακαλίδου, Ε., 2013).

Η γλουταμίνη έχει ένα αμινο-τελικό άκρο, το οποίο προσροφά το νερό, και αποτελεί το 40% του συνόλου των αμινοξέων της γλουτένης. Ένα άλλο αμινοξύ αποτελεί το 15% της γλιαδίνης και το 10 – 12% της γλουτενίνης είναι η προλίνη, η οποία έχει πλευρική ομάδα R και προσθέτει τον πλευρικό δακτύλιο στην αλυσίδα των αμινοξέων. Η προλίνη εμποδίζει τη δημιουργία έλικας στις πρωτεϊνικές αλυσίδες της γλουτένης. Σε αντίθεση με την προλίνη, η κυστεΐνη είναι ένα άλλο σημαντικό αμινοξύ της γλουτένης, το οποίο περιέχει δύο άτομα θείου στο μόριό του και δημιουργεί δεσμούς μεταξύ των πολυπεπτιδικών αλυσίδων, αλλά αποτελεί μόνο το 1-3 % των δομικών συστατικών της γλουτένης. Οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων θείου και άλλων ατόμων (-C, -N, -O) ονομάζονται δισουλφιδικοί και επηρεάζουν το μέγεθος των μορίων γλουτενίνης. Τα υπόλοιπα αμινοξέα που συγκροτούν τις πολυπεπτιδικές αλυσίδες γλουτένης κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις ομάδες με βάση τη διαλυτότητά τους, όπως αυτή προσδιορίζεται από την πλευρική ομάδα R (Πίν.1.2.1.).

Πίνακας 1.2.1.: Τα αμινοξέα της γλουτένης με βάση τη διαλυτότητά τους (Πηγή: Atwell, W.A., 2001, p.29).

ΟΞΥΤΗΤΑ	ΒΑΣΙΚΟΤΗΤΑ	ΟΥΔΕΤΕΡΟΤΗΤΑ (ΥΔΡΟΦΙΛΑ)	ΟΥΔΕΤΕΡΟΤΗΤΑ (ΥΔΡΟΦΟΒΑ)
Γλουταμινικό οξύ	Λυσίνη	Γλουταμίνη	Βαλίνη
Ασπαρτικό οξύ	Ιστιδίνη	Ασπαραγίνη	Λευκίνη
	Αργινίνη	Σερίνη	Ισολευκίνη
	Τρυπτοφάνη	Θρεονίνη	Αλανίνη
			Φαινυλαλανίνη
			Τυροσίνη
			Κυστεΐνη
			Προλίνη
			Μεθειονίνη
			Γλυκίνη

Το μοριακό βάρος των αλυσίδων γλιαδίνης κυμαίνεται από 30 έως 125 kDa. Οι αλυσίδες γλιαδίνης, λόγω της κυστεΐνης και των πλευρικών ομάδων της που περιέχουν θείο, δημιουργούν έλικες στις αλυσίδες γλιαδίνης. Το ποσοστό της έλικας που δημιουργείται καλύπτει το 20% των αλυσίδων γλιαδίνης μόνο, λόγω του αμινοξέος προλίνη. Υπάρχει επίσης μικρή πιθανότητα να δημιουργούνται και άλλες δευτεροταγείς δομές όπως η πτυχωτή επιφάνεια. Η δομή των αλυσίδων της γλιαδίνης στο χώρο είναι συμπυκνωμένη, καθώς δημιουργούνται πολλοί δεσμοί λόγω των πλευρικών ομάδων R μεταξύ των ίδιων αλλά και διαφορετικών αλυσίδων γλιαδίνης.

Η γλουτενίνη αποτελεί το 55- 70% του συμπλέγματος της γλουτένης. Τα μόρια γλουτενίνης είναι μεγαλύτερα από αυτά της γλιαδίνης, λόγω του μεγάλου αριθμού των δισουλφιδικών δεσμών που αναπτύσσονται μέσα στο μόριο της γλουτενίνης. Το μοριακό βάρος της γλουτενίνης ποικίλει από 100 kDa έως μερικά εκατοντάδες kDa. Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι μεγάλοι μοριακού βάρους υπομονάδες του μορίου της γλουτενίνης έχουν καλύτερα αποτελέσματα στην παρασκευή του ψωμιού σε σχέση με τη γλουτένη η οποία δεν περιέχει μεγάλου μοριακού βάρους δομικά μόρια γλουτενίνης. Τα μόρια γλουτενίνης είναι συνήθως γραμμικά, επειδή οι δισουλφιδικοί δεσμοί βρίσκονται στην άκρη των μορίων γλουτενίνης. Η διάταξή της στο χώρο είναι μορφής β-σπείρας, αποτελούμενη από συνεχείς β-σπείρες και η ελαστικότητά της ενισχύεται από δεσμούς υδρογόνου.

Οι αλβουμίνες και οι γλοβουλίνες του σίτου αποτελούνται από διαφορετικού τύπου αμινοξέα, από αυτά των πρωτεϊνών της γλουτένης. Περιέχουν λιγότερη γλουταμίνη και προλίνη και έχουν περισσότερα από τα βασικά αμινοξέα (αργινίνη και τρυπτοφάνη) και την κυστεΐνη. Τα μόρια της αλβουμίνης και της γλοβουλίνης είναι μικρότερα σε σχέση με τα μόρια των πρωτεϊνών της γλουτένης. Μάλιστα αρκετά μόρια αλβουμίνης και γλοβουλίνης έχουν ενζυμική δράση και η διάταξη τους στο χώρο είναι πολύ συγκεκριμένη. Ανάλογα με το αμινοξύ που υπάρχει στην κάθε άκρη της πολυπεπτιδικής

αλυσίδας, διαμορφώνεται και η δράση του ενζύμου καταλύοντας συγκεκριμένες αντιδράσεις (Atwell, W.A., 2001; Khatkar, B.S.).

1.2.2 Άμυλο και μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες

Το άμυλο αποτελεί το 63- 72% της σύστασης του αλεύρου με 14% ποσοστό υγρασίας. Το άμυλο αποτελεί το 67 - 68% ολόκληρου του σπύρου σιταριού και το 78% έως και 82% του αλεύρου που παράγεται από το σιτάρι. Σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες, το άμυλο αποτελείται μόνο από ένα δομικό συστατικό τη γλυκόζη, η οποία αποτελείται από έξι άτομα άνθρακα και είναι μια εξόζη. Η γλυκόζη περιέχει τόσα άτομα οξυγόνου, όσα και τα άτομα άνθρακα και διπλάσια άτομα υδρογόνου και αυτός είναι και ο λόγος που ανήκει στους υδατάνθρακες (CH_2O). Ο χημικός της τύπος είναι $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Η γλυκόζη αν και είναι ένα ευθύγραμμο μόριο δημιουργεί έναν δακτύλιο μεταξύ του πρώτου και του πέμπτου ατόμου άνθρακα. Τα άτομα γλυκόζης μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους με δύο τύπους δεσμών, τους α - 1,4 δεσμούς και τους α - 1,6 δεσμούς, στους οποίους οι αριθμοί υποδηλώνουν τους αριθμημένους άνθρακες κάθε ατόμου γλυκόζης που ενώνονται με χημικούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Το γράμμα α (άλφα) υποδηλώνει τον προσανατολισμό σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα και όταν το οξυγόνο του πρώτου άνθρακα βρίσκεται κάτω από τον οριζόντιο άξονα, τότε η διαμόρφωση είναι άλφα. Όταν το άτομο οξυγόνου του πρώτου άνθρακα βρίσκεται κάτω από τον οριζόντιο άξονα ο προσανατολισμός είναι β (βήτα). Με την ένωση δύο μορίων γλυκόζης, αποβάλλεται ένα μόριο νερού, οπότε τα μόρια της γλυκόζης που συνδέονται έχουν χημικό τύπο $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$ (El-Porai et al., 2013).

Οι δεσμοί α -1,4, μεταξύ των ατόμων άνθρακα δημιουργούν ένα ευθύγραμμο μόριο, ενώ οι δεσμοί α -1,6, δημιουργούν τις διακλαδώσεις στην ευθύγραμμη αλυσίδα. Το άμυλο αποτελείται από δύο τύπους μορίων γλυκόζης, την αμυλόζη και την αμυλοπυκτίνη. Η αμυλόζη περιέχει γραμμικά μόρια γλυκόζης με α -1,4 δεσμούς και περιέχει πολύ λίγες διακλαδώσεις. Οι δομικές μονάδες γλυκόζης που αποτελούν την αμυλόζη φτάνουν τα 1.500 έως 6.000 δομικά μόρια. Ακόμα και τα γραμμικά μόρια της αμυλόζης έχουν την τάση να δημιουργούν έλικες σε τρισδιάστατη απεικόνιση και αυτή τους η ιδιότητα επηρεάζει τη χημική τους συμπεριφορά. Το κοινό αλεύρι αποτελείται κατά 26 - 28% από αμυλόζη (El-Porai et al., 2013).

Η αμυλοπυκτίνη είναι πολύ μεγαλύτερο μόριο από την αμυλόζη και περιέχει αρκετές διακλαδώσεις, έχει ημικρυσταλλική δομή και αποτελεί υπόλοιπο 72 - 74% περίπου της δομής του αμύλου. Το μόριο της αμυλόζης αποτελείται από 300.000 έως 3.000.000 δομικά μόρια, Το 4- 6% των συνδετικών δεσμών στην αμυλοπυκτίνη αποτελείται από δεσμούς α -1,6. Οι δεσμοί α -1,6 εμποδίζουν τη δημιουργία έλικας και αυτός είναι και ο λόγος που η αμυλοπυκτίνη έχει λιγότερους ελικοειδής σχηματισμούς σε σχέση με την αμυλόζη (El-Porai et al., 2013).

Πέραν της αμυλόζης και της αμυλοπυκτίνης, το άμυλο περιέχει και μεγαλύτερες δομές, τους ονομαζόμενους «κόκκους αμύλου». Οι κόκκοι είναι κατά 30% κρυσταλλικής δομής και έχουν το σχήμα κατοπτρικών φακών. Υπάρχουν δύο κατηγορίες κόκκων με βάση το μέγεθός τους. Υπάρχουν οι μικρότεροι κόκκοι που είναι πιο σφαιρικοί (τύπου Β), οι οποίοι έχουν διάμετρο 2-10 μm, και οι μεγαλύτεροι (τύπου Α) που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm (20 έως 45 μm) (El-Porai et al., 2013). Οι κόκκοι αμύλου είναι αρκετά πολωμένοι και στρέφουν τη διεύθυνση του πολωμένου φωτός, αυτός είναι και ο λόγος που χαρακτηρίζονται από «διπλοθλαστικότητα» (Atwell, W.A., 2001).

Το αλεύρι αποτελείται και από άλλους πολυσακχαρίτες, οι οποίοι ονομάζονται ημικυτταρίνες και κάποιοι είναι αδιάλυτοι στο νερό, ενώ κάποιοι έχουν υψηλή διαλυτότητα. Οι πολυσακχαρίτες αυτοί είναι πεντόζες (5 άτομα άνθρακα) και το ποσοστό των πεντοζών που είναι αδιάλυτες αποτελεί το 2,4% του αλεύρου. Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει 2,1% μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες (CESNID, 2008). Οι πεντόζες αυτές είναι η αραβινόζη και η ξυλόζη. Μια αλυσίδα από μόρια ξυλόζης, τα οποία συνδέονται με δεσμούς α-1,4, μαζί με μια πλευρική δομική μονάδα αραβινόζης που ενώνεται στο τρίτο άτομο άνθρακα μιας ξυλόζης συνθέτουν τις αραβινοξυλάνες. Κάποιες αραβινοξυλάνες είναι διαλυτές και αποτελούν το 1,0- 1,5% του αλεύρου. Η διαλυτότητά τους εξαρτάται από το μοριακό τους βάρος και τον αριθμό των πλευρικών μορίων αραβινόζης. Επειδή η ξυλόζη είναι αδιάλυτη, όσο μεγαλύτερη είναι η αλυσίδα της αραβινοξυλάνης, τόσο η διαλυτότητά της αυξάνεται. Η αραβινόζη είναι περισσότερο διαλυτή. Οι β- γλυκάνες ανήκουν επίσης στους μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες και αποτελούν το ένα τρίτο (1/3) του ποσοστού των πεντοζών που υπάρχουν στο αλεύρι. Οι β- γλυκάνες αποτελούνται μόνο από μόρια γλυκόζης, αλλά δεν έχουν καθόλου διακλαδώσεις στο μόριό τους και οι δεσμοί που συνδέουν τα μόρια γλυκόζης είναι β-1,3 και β-1,4.

Τόσο οι αραβινοξυλάνες όσο και οι β- γλυκάνες βρίσκονται στο ενδοσπέρμιο του σπόρου του σιταριού και σε μεγαλύτερο ποσοστό στο τμήμα της αλευρόνης, που περιβάλλει το ενδοσπέρμιο. Κατά συνέπεια η συγκέντρωσή τους στο αλεύρι σίτου είναι περιορισμένη και μάλιστα δεν συνίστανται ως συστατικά του αλεύρου, επειδή έχουν την ικανότητα να προσροφούν μεγάλες ποσότητες νερού (Atwell, W.A., 2001).

1.2.3. Λιπίδια

Τα λιπίδια του σπόρου είναι κατανεμημένα στο έμβρυο, στο στρώμα της αλευρόνης και στο ενδοσπέρμιο. Τα λιπίδια αποτελούν το 1% του ενδοσπερμίου του σίτου. Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει 2,2% λιπαρά (CESNID, 2008). Αυτό εξηγείται, επειδή τα λιπίδια προέρχονται από τις κυτταρικές μεμβράνες και τα κύτταρα του ενδοσπερμίου που είναι πολύ μεγάλα, οπότε οι μεμβράνες είναι αρκετά λεπτές. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα λιπίδια είναι τα ελεύθερα και μη και η κατηγορία των πολικών

και ουδέτερων λιπιδίων. Τα ελεύθερα λιπίδια εξάγονται με μη πολικούς διαλύτες, όπως το εξάνιο. Τα συσσωματωμένα λιπίδια υπό μορφή σφαιρικών σωματιδίων, είτε συνδεδεμένα με κοκκία αμύλου διαλύονται σε πολικούς διαλύτες, όπως η αιθανόλη. Τα ουδέτερα λιπίδια είναι τα τριγλυκερίδια και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα. Τα λιπίδια αντιθέτως που περιέχουν ομάδες φωσφόρου (φωσφολιπίδια) και αυτά που περιέχουν υδατάνθρακες (γλυκολιπίδια) θεωρούνται πολικά λιπίδια (Atwell, W.A., 2001). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ποσοστιαία (%) κατανομή των λιπιδίων στις παραπάνω κατηγορίες, όπου και φαίνεται ότι τα ουδέτερα λιπίδια βρίσκονται κυρίως στο έμβryo του σπύρου του σιταριού και είναι κατά κύριο λόγο ελεύθερα λιπίδια. Τα δε πολικά λιπίδια κυρίως βρίσκονται στο ενδοσπέρμιο και είναι είτε ενωμένα με το άμυλο, είτε ελεύθερα (Πίν.1.2.3.).

Πίνακας 1.2.3.: Η κατανομή των λιπιδίων του σιταριού στους ιστούς του σπύρου (% του συνόλου των λιπιδίων). (Πηγή: Τσακαλίδου, Ε., Σημειώσεις Μεταπτυχιακού, (2013), σ.84).

	Έμβryo	Αλευρόνη	Ενδοσπέρμιο	
			Ελεύθερα	Ενωμένα με το άμυλο
Ουδέτερα λιπίδια	24,1	17,9	9,7	0,7
Πολικά λιπίδια	6,3	6,9	19,5	14,9
Μερικό σύνολο			29,2	15,6
Σύνολο	30,4	24,8	44,8	

2. ΚΛΑΣΕΙΣ ΣΙΤΗΡΩΝ

2.1 Διαφοροποίηση σκληρού και μαλακού σίτου

Το σιτάρι χωρίζεται σε διάφορες ομάδες με βάση τη σκληρότητα του φύτρου του σπόρου και κατά συνέπεια τη δύναμη που απαιτείται για τη θραύση του σπόρου. Η σκληρότητα του σιταριού εξαρτάται από την ικανότητα προσκόλλησης του αμύλου με τις πρωτεΐνες στο ενδοσπερμίο. Στο σιμιγδάλι και το σκληρό σιτάρι, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αμύλου και πρωτεϊνών είναι πιο ισχυρές, σε σχέση με τις αλληλεπιδράσεις στο μαλακό σιτάρι. Κατά συνέπεια προκύπτουν και διαφοροποιήσεις κατά το άλεσμα. Το άμυλο που βρίσκεται στο ενδοσπέρμιο του σπόρου, σχηματίζει κρυσταλλικές δομές που ονομάζονται «κόκκοι αμύλου». Ο χώρος μεταξύ των κόκκων καλύπτεται με άμορφες πρωτεΐνες γλουτένης. Από την άλεση μαλακού σιταριού, τα κύτταρα του ενδοσπερμίου μετατρέπονται σε αλεύρι που κυρίως δεν περιέχει άμυλο, παρά λίγους μόνο κόκκους που περιέχουν μαζί άμυλο και πρωτεΐνη. Στο σκληρό σιτάρι, λόγω των ισχυρών δεσμών που συγκρατούν το άμυλο με τις πρωτεΐνες, η θραύση κατά το άλεσμα πραγματοποιείται ανάμεσα από τους δεσμούς αυτούς και οι κόκκοι που προκύπτουν περιέχουν «κατεστραμμένο άμυλο» (MacGregor et al., 1980). Στο αλεύρι σκληρού σιταριού, το κατεστραμμένο άμυλο μπορεί να αποτελεί το 8% ή και μεγαλύτερο μέρος του συνολικού αμύλου του αλεύρου. Εάν το αλεύρι προερχόταν από σιμιγδάλι, τότε το ποσοστό κατεστραμμένου αμύλου θα ήταν ακόμα μεγαλύτερο, επειδή οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αμύλου και γλουτένης είναι πιο ισχυρές από αυτές του σκληρού σίτου (Atwell, W.A., 2001).

2.2 Εμπορικές κλάσεις σιτηρών

Σε παγκόσμια κλίμακα τα σιτηρά ταξινομούνται σύμφωνα με το χρώμα, τη σύσταση και τη δομή του ενδοσπερμίου και την εποχή σποράς. Υπάρχουν επτά κύριες κατηγορίες, από τις οποίες οι δύο αναφέρονται στο σκληρό σιτάρι «durum wheat», οι τέσσερις στο μαλακό «soft-hard» και ακόμα μια σε μίγματα που προκύπτουν από την ανάμειξη των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Οι δύο από τις τέσσερις κατηγορίες του μαλακού σιταριού διακρίνονται με βάση τη σύσταση και τη δομή του ενδοσπερμίου και προκύπτουν οι τύποι σιτηρών «hard» και «soft», ανάλογα με το εάν το ενδοσπέρμιο χαρακτηρίζεται ως σκληρό ή μαλακό αντίστοιχα. Ένα άλλο ταξινομικό χαρακτηριστικό είναι το χρώμα, από το οποίο και προκύπτουν οι τύποι «red» και «white», με βάση την παρουσία ή απουσία μιας κοκκινωπής χρωστικής στα εξωτερικά στρώματα του πυρήνα του σίτου αντίστοιχα. Ο τρίτος όρος ταξινόμησης

βασίζεται στην εποχή φύτευσης των σιτηρών και περιλαμβάνει τους τύπους «winter» και «spring». Ο χειμερινός σίτος φυτεύεται το φθινόπωρο, βλαστάνει την άνοιξη και συγκομίζεται το καλοκαίρι. Ενώ απαιτείται μια περίοδο θερμοκρασιών χαμηλότερων από τους μηδέν βαθμούς Κελσίου (° C), ώστε να μπορέσουν να διαμορφωθούν τα στάχια που θα φέρουν τους τελικούς σπόρους του σιταριού. Όσο για το ανοιξιότικο σιτάρι, αυτό δεν χρειάζεται κρύο και φυτεύεται την άνοιξη και συγκομίζεται στα τέλη του καλοκαιριού ή του φθινοπώρου (Atwell, W.A., 2001).

Οι συνδυασμοί των χαρακτηριστικών της σκληρότητας του ενδοσπερμίου, της ύπαρξης χρωστικής και της εποχής σποράς δίνουν τις ακόλουθες κλάσεις:

Για το μαλακό σιτάρι:

α) Hard red winter wheat (HRW) (κόκκινο χειμωνιάτικο σιτάρι με σκληρό ενδοσπέρμιο): Είναι αλεύρι υψηλής αρτοποιητικής αξίας που χρησιμοποιείται και για ενίσχυση λιγότερο ανθεκτικών αλεύρων. Προέρχεται από ενδοσπέρμιο υαλώδες, υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, με ανθεκτική γλουτένη και έχει υψηλή ικανότητα απορρόφησης νερού.

β) Hard red spring wheat (HRS) (κόκκινο ανοιξιότικο σιτάρι με σκληρό ενδοσπέρμιο): Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι ανάλογα με αυτά της πρώτης κλάσης με ακόμα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη.

γ) Soft red winter wheat (SRW) (κόκκινο χειμωνιάτικο σιτάρι με μαλακό ενδοσπέρμιο): Το ενδοσπέρμιο είναι περισσότερο αλευρώδες και φτωχότερο σε πρωτεΐνη, με λιγότερο ανθεκτική γλουτένη με μικρότερη απορροφητικότητα σε νερό και ο συγκεκριμένος τύπος χρησιμοποιείται στην παρασκευή μπισκότων, κέικ, κράκερς, φύλλων κρούστας και ειδών ζαχαροπλαστικής.

δ) Soft White wheat (SW) (λευκό σιτάρι): Το ενδοσπέρμιο είναι αλευρώδες και μαλακό, με χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, μικρή απορροφητικότητα νερού και λιγότερο ανθεκτική γλουτένη, με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλο στην αρτοποιία. Κρίνεται κατάλληλο για μπισκότα, κράκερ, «noodles», γκοφρέτες και άλλα προϊόντα ζαχαροπλαστικής.

Για το σκληρό σιτάρι:

α) Durum wheat (σκληρό σιτάρι): Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, ανθεκτική γλουτένη και υψηλή ικανότητα απορρόφησης νερού. Είναι κατάλληλο για την παραγωγή ζυμαρικών.

β) Hard white wheat (HW) (σκληρό άσπρο σιτάρι): Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, ανθεκτική γλουτένη και υψηλή απορροφητικότητα σε νερό. Τα πίτυρά του δεν έχουν χρωστικές. Αξιοποιείται στην αρτοποιία και σε συναφή προϊόντα.

Ενδιάμεσες κλάσεις:

α) Mixed wheat (ανάμεικτο σιτάρι): Αποτελείται από μίγματα των προηγούμενων κλάσεων και θεωρείται ως το κατώτερης ποιότητας σιτάρι.

β) Unclassed wheat (χωρίς κατηγορία): Σε αυτή την κλάση μπορεί να ενταχθεί οποιαδήποτε κατηγορία σιταριού δεν μπορεί να ενταχθεί σε καμία από τις προαναφερθείσες κλάσεις. Συμπεριλαμβάνεται επίσης οποιοδήποτε σιτάρι έχει άλλες χρωστικές εκτός της κόκκινης και της λευκής.

Σε κάθε κλάση περιέχονται επιμέρους ποικιλίες, λόγω του εύρους των γενετικών διαφορών. Κάθε ποικιλία που μπορεί να ανήκει στην ίδια κλάση, ενδέχεται να διαφοροποιείται σε σχέση με άλλες της κλάσης αυτής σε κάποιο μετρήσιμο χαρακτηριστικό, όπως η δυνατότητα παραγωγής, η ανθεκτικότητα σε ασθένειες, η αντίσταση στην ξηρασία ή μερικές φυσικές ιδιότητες του φυτού (Atwell, W.A., 2001).

3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΕΣΜΑΤΟΣ

3.1 Στάδια συμβατικής διαδικασίας άλεσης

Η διαδικασία άλεσης περιλαμβάνει τρεις γενικές διεργασίες: τον καθαρισμό, το conditioning «tempering» και τέλος την άλεση. Στον καθαρισμό αφαιρούμε ανεπιθύμητα ξένα σώματα. Αυτά τα ξένα σώματα μπορεί να αποτελούνται από άλλους τύπους σπόρων, υποανάπτυκτων ή ασθενικών, εντόμων, μίσχων, πετρών και άλλων ξένων υλών που μπορούν να βρεθούν στο χωράφι. Πριν την άλεση αυτά τα ξένα σώματα αφαιρούνται με μαγνητικούς διαχωριστήρες «magnetic separators», και με αλεστικούς διαχωριστήρες «milling separators». Ο πρώτος τύπος απομακρύνει μεταλλικά αντικείμενα και ο δεύτερος τύπος διαχωριστήρα απομακρύνει ξύλα, πέτρες, στελέχη και άλλα φυτικά υπολείμματα (Atwell, W.A., 2001).

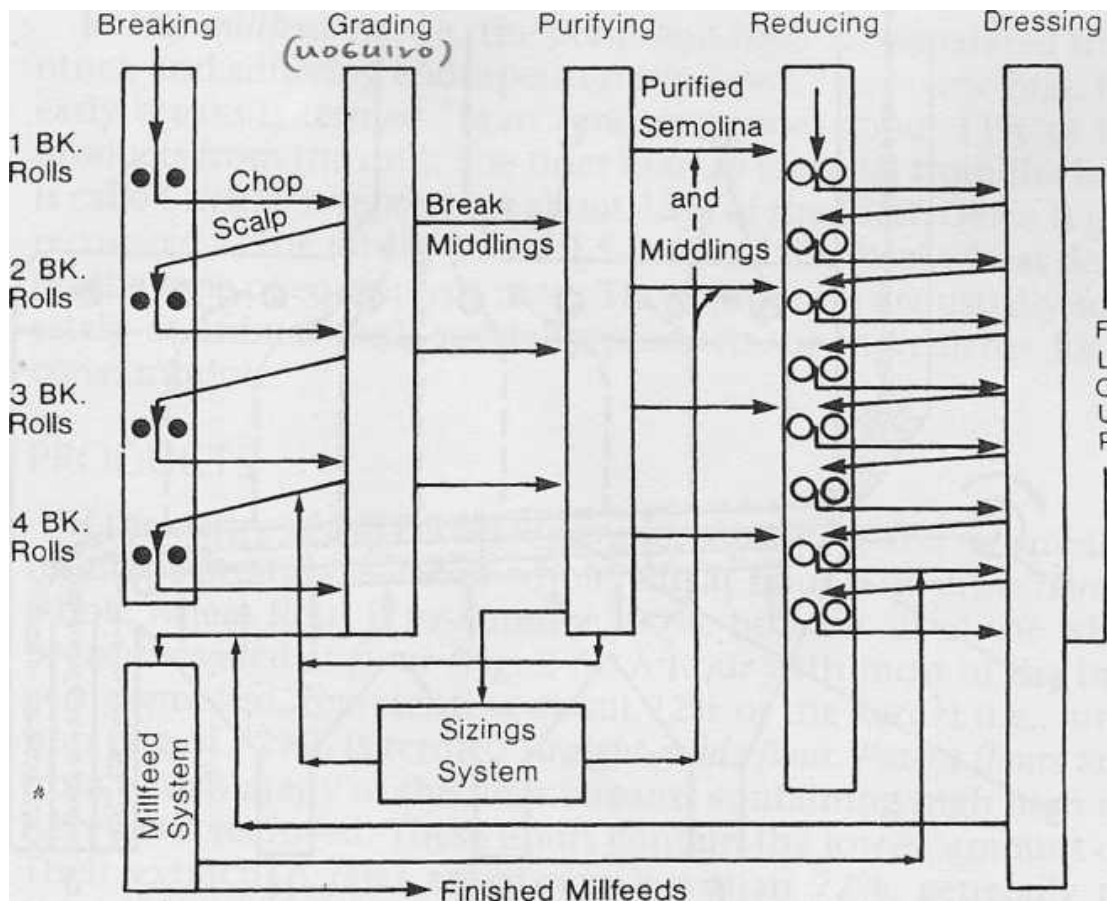
Τα ελαφρύτερα και με μικρότερη πυκνότητα ξένα σώματα αφαιρούνται δια αναρρόφησης «aspiration». Ανοδικής ροής κυκλώνες αέρα περνάνε μέσα από το σιτάρι, καθώς αυτό τροφοδοτείται στο διαχωριστή και τα ελαφρύτερα υλικά παρασύρονται μακριά από τους σπόρους σίτου. Στη συνέχεια οι σπόροι σίτου πέφτουν πάνω σε ένα κόσκινο, το οποίο τους επιτρέπει να το διαπεράσουν και ταυτόχρονα συγκρατεί μεγαλύτερους σπόρους και πέτρες. Το δεύτερο κόσκινο που ακολουθεί επιτρέπει τη διέλευση σπόρων μικρότερης διαμέτρου από αυτή των σπόρων σίτου.

Η χρήση και δισκοειδή διαχωριστήρα «disk separator» απαιτείται στη διαδικασία καθαρίσματος, προκειμένου να διαχωριστούν οι σπόροι σίτου από σπόρους άλλων ειδών, της ίδιας πυκνότητας. Στο δισκοειδή διαχωριστήρα περιστρέφονται δίσκοι συγκεκριμένης διαμέτρου που επιτρέπουν ή απορρίπτουν το μήκος των σπόρων. Υλικά, όπως μικρές πέτρες παρομοίου μεγέθους με αυτό του σπόρου διαχωρίζονται βάση του συνδυασμού βαρύτητας και πυκνότητας που έχουν και αυτό διαφοροποιεί το χρόνο πτώσης τους.

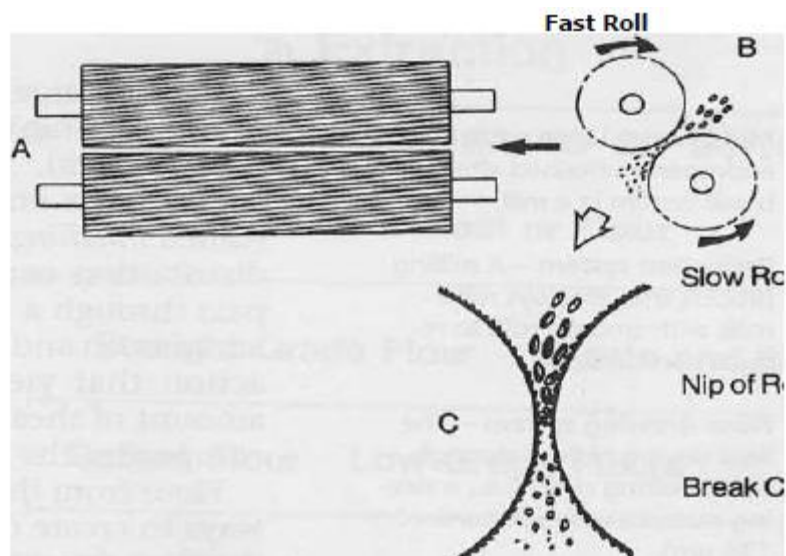
Το «conditioning» αναφέρεται στην προσθήκη προκαθορισμένης ποσότητας νερού στο σιτάρι για προκαθορισμένο χρόνο. Προσαρμόζοντας τα επίπεδα υγρασίας του σίτου, επιτυγχάνεται η αύξηση της σκληρότητας του πίτυρου, που έχει ως σκοπό να το κάνει λιγότερο εύθρυπτο και να διαχωρίζεται πιο εύκολα από το ενδοσπέρμιο και το φύτρο. Το ενδοσπέρμιο αντιθέτως μαλακώνει με την προσθήκη νερού και αυτό του επιτρέπει να σπάει σε κομμάτια ασκώντας του λιγότερη πίεση κατά την άλεση. Η ιδανική-βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία για το μαλακό σιτάρι είναι της τάξης του 15 - 15,5%, η οποία επιτυγχάνεται σε 6 έως 10 ώρες. Για το σκληρό σιτάρι, η τελική υγρασία είναι της τάξης του 16 - 16,5%, η οποία επιτυγχάνεται στις 12 με 18 ώρες (El-Porai et al., 2013). Επιπρόσθετα ο ρόλος της θερμοκρασίας στη διεργασία της

προσαρμογής της υγρασίας είναι πολύ σημαντικός επειδή επηρεάζει την διεισδυτικότητα της υγρασίας στο σπύρο. Οι θερμοκρασίες που εφαρμόζονται είναι κάτω από τους 50° C για να μην αλλοιωθούν τα συστατικά του αλεύρου και ειδικότερα η γλουτένη.

Σε αυτό το σημείο το αλεύρι είναι έτοιμο για άλεση, με την οποία διεργασία ο καρπός του σίτου λειαίνεται και απομονώνονται τμήματα του σίτου συγκεκριμένων μεγεθών. Το πρώτο μηχάνημα κατά τη διεργασία της άλεσης είναι ο κυλινδρόμυλος «roller mill». Ο κάθε κυλινδρόμυλος, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (3.1.1.), αποτελείται από ένα ζεύγος κυλίνδρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι οριζοντίως και παράλληλα μεταξύ τους. Ο ένας περιστρέφεται δεξιόστροφα και ο άλλος αριστερόστροφα, αφήνοντας ανάμεσά τους ένα κενό. Ο ένας κύλινδρος περιστρέφεται πιο γρήγορα από τον άλλο και έχουν λοξά αυλακωτή επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.1.2.).



Σχήμα 3.1.1.: Διάγραμμα ροής για την παραγωγή αλεύρου, από την τροφοδοσία, μέχρι το τελικό κοσκίνισμα (Πηγή: Atwell, W.A., 2001, p.19).



Σχήμα 3.1.2: Διάταξη κυλινδρόμυλων ((Πηγή: Atwell, W.A., 2001, p.19).

Σε αυτό το στάδιο «breaking» αφαιρείται το ενδοσπέρμιο από το πίτυρο και το φύτρο. Κάθε ένα από τα πέντε ζευγάρια κυλινδρόμυλων λειτουργεί ως ένα ξεχωριστό επίπεδο διάσπασης και έχουμε το φύτρο και το μεγαλύτερο ποσοστό του πίτυρου να αφαιρούνται στα δύο πρώτα επίπεδα διάσπασης.

Μετά από κάθε επίπεδο διάσπασης, υπάρχει μια σειρά από κόσκινα «grading» ή/ και μια σειρά από συστήματα καθαρισμού «purifying» με αναρρόφηση «aspiration», η οποία διαχωρίζει τα διάφορα κλάσματα βάση του μεγέθους και της πυκνότητάς τους.

Τα λεπτά κλάσματα οδηγούνται για άλευρα και τα πιο χοντρά κλάσματα είτε απομακρύνονται μαζί με τα φύτρα και τα πίτυρα, είτε στέλνονται στο αμέσως επόμενο επίπεδο διάσπασης. Τα μεγαλύτερα κομμάτια ενδοσπερμίου μαζί με τα λίγα πίτυρα «Middlings» και τα πιο χοντρά κλάσματα οδηγούνται σε σύστημα περαιτέρω μείωσης του μεγέθους τους «reduction system», όπου διαχωρίζονται τα πίτυρα πλέον από το αλεύρι. Το πιο καθαρό κλάσμα ενδοσπερμίου που προκύπτει από αυτήν τη διαδικασία, πριν αυτό γίνει αλεύρι, αποκαλείται «farina» για το μαλακό σιτάρι και «semolina» για το σκληρό σιτάρι. Σε αυτό το επίπεδο διάσπασης οι κόκκοι θα πρέπει να μπορούν να περάσουν από άνοιγμα της τάξης των 136 μm.

Οι κινήσεις των κυλίνδρων σε αυτό το σύστημα το λεγόμενο «reduction system», όπου αναφέρονται οκτώ ζευγάρια κυλίνδρων, είναι ομαλές με μικρές διαφορές στις μεταξύ τους κινήσεις. Το αποτέλεσμα της σύνθλιψης, η οποία αποδίδει τελικά και τα τελικά σωματίδια του αλεύρου, αποτελεί και το μεγαλύτερο ποσοστό του αλεύρου που παράγεται. Το χοντρό πιτυρούχο υποπροϊόν από τους πρώτους κυλινδρόμυλους της διαδικασίας διάσπασης «breaking», ονομάζεται «bran-πίτυρο» και το λεπτότερο πιτυρούχο υλικό από το σύστημα μείωσης μεγέθους «reduction system», ονομάζεται «shorts». Οι συνδυασμοί μεταξύ των αλεύρων των αρχικών κυλινδρόμυλων και των τελικών της μείωσης μεγέθους δίνουν διαφορετικούς τύπους αλεύρων.

Στο τελευταίο στάδιο άλεσης, το «flour dressing system», το άλευρο ξανακοσκινίζεται. Το υλικό που περνάει από αυτά τα τελικά κόσκινα αποτελεί και το πρότυπο μέγεθος κόκκου (136 μm). Τα μεγαλύτερα τεμάχια επιστρέφουν πίσω στην παραγωγική διαδικασία για επανεπεξεργασία. Το άλευρο από μπορεί κατόπιν του σταδίου άλεσης να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία με χλωρίωση ή να εμπλουτιστεί με βελτιωτικά ποιότητας ή να λευκανθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του πελάτη.

Η απόδοση σε χοντρό πιτυρούχο υποπροϊόν από τους πρώτους κυλινδρόμυλους αποτελεί το 11% της συνολικής παραγόμενης ποσότητας του μύλου και το λεπτότερο πιτυρούχο υλικό αποτελεί το 15% της παραγόμενης ποσότητας του μύλου. Τόσο τα πιτυρούχα αυτά προϊόντα του μύλου, όσο και το φύτρο του σιταριού που ανακτάται σε ποσοστό 0,5 – 2,0% του αρχικού σίτου, πωλούνται ως ξεχωριστά προϊόντα ως ζωοτροφές ή και για ανθρώπινη κατανάλωση (Atwell, W.A., 2001).

3.2 Διαδικασία άλεσης –Jet Milling

Η άλεση με πεπιεσμένο αέρα, όπως συμβαίνει κατά τη διαδικασία άλεσης «jet milling», αποτελεί μια τεχνολογία σύγχρονη που βασίζεται στην άμεση «top- down» επεξεργασία μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων του υλικού άλεσης. Η άλεση πραγματοποιείται με χρήση υψηλής πίεσης αερίων, συνήθως αέρα και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτόκοκκων σωματιδίων σε επίπεδο μικρο- κλίμακας. Η τεχνολογία άλεσης με πεπιεσμένο αέρα χρησιμοποιείται για θερμοευαίσθητα και εύθρυπτα υλικά και το αποτέλεσμά της είναι η παραγωγή υπερ- λεπτών κόνεων «ultrafine powders». Μπορεί επιπρόσθετα να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω άλεση προ-αλεσμένων αλεύρων (Vouris, D., 2013).

Μέσω της εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας αναμένεται η παραγωγή αλεσμάτων με βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες, όπως καλύτερη ενσωμάτωση σε μίγματα με άλλα άλευρα, αλλά και η αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα των βιο- ενεργών συστατικών, όπως βιταμινών, μετάλλων και ινών με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η τεχνολογία του πεπιεσμένου αέρα δίνει ένα προστιθέμενο όφελος στα τελικά προϊόντα επηρεάζοντας τα οργανοληπτικά και διατροφικά τους χαρακτηριστικά. Σε μελέτη που έγινε με χρήση της τεχνολογίας «jet mill», όπου πραγματοποιήθηκε μείωση της διαμέτρου του αλεύρου (d_{50}) από 100 μm σε 60 μm, 45 μm, μέχρι και 19,14 μm (Protonotariou, S., 2014) παρατηρήθηκε αύξηση του ποσοστού των πεντοζών από 0,92 σε 1,47% και αύξηση του ποσοστού του κατεστραμμένου αμύλου από 5,40 σε 11,75%, ενώ η σκληρότητα, η ελαστικότητα και συνεκτικότητα του ζυμαριού αυξήθηκαν. Η μέτρηση που έγινε με Διαφορικό Θερμιδόμετρο (D.S.C.) έδειξε ότι το ζυμάρι του αλεύρου της τεχνολογίας αυτής έχει χαμηλότερη ενθαλπία ζελατινοποίησης του αμύλου (Vouris, D., 2013).

Η άλεση της τεχνολογίας «jet mill» είναι μια τεχνική κρούσης και άλεσης και λόγω του φαινομένου Joule- Thompson, ο αέρας που απελευθερώνεται είναι σε χαμηλή θερμοκρασία και το προϊόν άλεσης δεν ανεβάζει τη θερμοκρασία του εσωτερικά, λόγω του αέρα που το περιβάλλει. Η τριβή που παράγεται από τις κρούσεις των σωματιδίων μεταξύ τους και με το θάλαμο άλεσης (Protonotariou, S., 2014) αντισταθμίζεται από την επίδραση της ψύξης του αέρα. Γενικά αυτός ο τύπος μύλων χρησιμοποιείται για την άλεση σωματιδίων κρυσταλλικής ή εύθρυπτης δομής σε εύρος 1-10 μm (Sanguansri, P., Augustin, M.A., 2006; The Jet Pulverizer Co).

Ο ρυθμός τροφοδοσίας του μύλου και ο ρυθμός τροφοδοσίας του αέρα είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι στη λειτουργία του μύλου με πεπιεσμένο αέρα. Έχει παρατηρηθεί ότι το μέσο μέγεθος των παραγόμενων σωματιδίων μειώνεται, όσο αυξάνεται η ογκομετρική παροχή του αέρα και μειώνεται ο ρυθμός τροφοδοσίας του προϊόντος (Teng, Wang, Linjie, Young, & Gogos, 2009). Ο αριθμός των αλέσεων και η προάλεση που μπορεί να έχει προηγηθεί, μειώνουν το τελικό μέγεθος των σωματιδίων του αλεύρου. Η ενέργεια ροής του αέρα μετατρέπεται σε κινητική του προϊόντος γρηγορότερα, όσο τα σωματίδια είναι μικρότερα και βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. Ο μύλος που χρησιμοποιήθηκε είναι μοντέλο «0101S Jet – O – Mizer Milling», της εταιρίας Fluid Energy Processing and Equipment Company, Telford, Pennsylvania, USA, με δυνατότητα λειτουργίας σε πίεση 8 ατμόσφαιρες και ρυθμό τροφοδοσίας 15 kg/h (Teng, S., Wang, P., Zhu, L., Young, Ming-Won, Gogos, C.G., 2009; Tuunila and Nyström, 1998).



Σχήμα 3.2.1: Περιφερικά μηχανήματα Jet mil –συμπιεστήρας, φίλτρο και δεξαμενή αέρα (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 3.2.2: Κεντρικό μηχάνημα Jet mil (προσωπικό αρχείο).

3.3 Τύποι αλεύρου

Η άλεση του συνόλου του σπόρου του σίτου, κατά την οποία ο σπόρος χωρίζεται και επανα-συγκεντρώνεται, παράγει το αλεύρι ολικής άλεσης. Ο βαθμός εξαγωγής του αλεύρου ολικής άλεσης είναι 100%, επειδή αλέθεται ο καρπός στο σύνολό του.

Όταν το μεγαλύτερο μέρος του περικαρπίου και του φλοιού (πύτιρα), όπως και του εμβρύου αφαιρούνται με την άλεση του σπόρου (Posner, E.S., 2000), η απόδοση σε αλεύρι είναι το 72 % του σπόρου και το αλεύρι ονομάζεται “straight – grade flour”. Το αλεύρι αυτού του τύπου έχει ποιότητα ανάλογη με την ποιότητα του αλεσμένου σπόρου. Άλλη κατηγορία αλεύρου είναι αυτή του “patent”, στην οποία η περιεκτικότητα του περικαρπίου και του φλοιού είναι η μικρότερη από οποιοδήποτε άλλο τύπο αλεύρου. Ο βαθμός απόδοσης είναι χαμηλότερος από 72 %, και κυμαίνεται από 65 % για το μεγαλύτερης χρονικά επεξεργασίας άλεσης αλεύρι “patent”, έως 45 % για το μικρότερης χρονικά άλεσης του αλεύρου. Ο τύπος αλεύρου που έχει αποδόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 45 και 65 % ονομάζεται αλεύρι “cutoff”. Το αλεύρι “clear” είναι ένας τέταρτος τύπος αλεύρου που έχει χαμηλό βαθμό εκχύλισης μεταξύ 65 και 72 % και είναι πιο σκούρο σε χρώμα επειδή συνήθως έχει πιο μεγάλη περιεκτικότητα σε πύτιρα από τους άλλους τρεις τύπους αλεύρων. Ο βαθμός απόδοσης της άλεσης είναι μια μεταβλητή εκτίμησης της

καθαρότητας του αλεύρου από το περικάρπιο και το φλοιό και δηλώνει την καθαρότητα της περιεκτικότητας του αλεύρου σε ενδοσπέρμιο. Η περιεκτικότητα του αλεύρου σε συστατικά του ενδοσπερμίου, μπορεί να δώσει μια αδρή κατηγοριοποίηση του αλεύρου με βάση την ποιότητά του. Τα υπόλοιπα τμήματα του σπόρου του σιταριού, πέραν του ενδοσπερμίου δε βελτιώνουν τις ιδιότητες του αλεύρου και έχουν αντίθετα αποτελέσματα κατά την επεξεργασία του προϊόντος.

Όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του αλεύρου σε φλοιό, περικάρπιο και έμβρυο του σπόρου, τόσο μικρότερη είναι η διατροφική αξία του αλεύρου, αφού έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία, τα οποία και βρίσκονται κυρίως στο περικάρπιο, το φλοιό και το έμβρυο. Τα άλευρα υψηλής απόδοσης έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στάχτη, δηλαδή σε άκαυστα υλικά, από ότι τα άλευρα χαμηλότερων αποδόσεων. Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζει τη λευκότητα του αλεύρου, τη διατροφική του αξία και τις αρτοποιητικές του ιδιότητες (Atwell, W.A., 2001).

Υπάρχουν διάφοροι τύποι σίτου, με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους, όπως την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες, την περιεκτικότητά σε γλουτένη και την ικανότητα απορρόφησης υγρασίας.

3.4 Η λειτουργικότητα των συστατικών του αλεύρου

3.4.1 Γλουτένη

Η λειτουργικότητα της γλουτένης ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του αλεύρου. Το μαλακό αλεύρι δημιουργεί ζυμάρι με μικρότερη ικανότητα συγκράτησης των αερίων της ζύμωσης σε σχέση με το σκληρό αλεύρι. Κατά συνέπεια, στην παραγωγή ψωμιού, όπου το ζυμάρι περιέχει ένζυμα και η ικανότητα συγκράτησης των αερίων της ζύμωσης παίζει σημαντικό ρόλο, η γλουτένη του σκληρού σίτου είναι πιο λειτουργική σε σχέση με τη γλουτένη του μαλακού σίτου. Σε κάποια προϊόντα όπως τα κράκερ, τα κέικ και τα μπισκότα, όπου η σημασία της συγκράτησης αερίων πριν και κατά τη διάρκεια του ψησίματος δεν είναι σημαντική, η γλουτένη του μαλακού σίτου αλεύρου είναι πιο λειτουργική. Το σκληρό αλεύρι δημιουργεί μια πιο σκληρή υφή στα παραπάνω προϊόντα. Οι φυσικές ιδιότητες της γλουτένης, όπως αυτή της συγκράτησης αερίων εξαρτώνται από τα δομικά της συστατικά. Η ενυδατωμένη γλιαδίνη έχει μεγάλο ιξώδες και μπορεί να ρέει με τη δύναμη της βαρύτητας. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται εκτατικότητα. Η ενυδατωμένη γλουτενίνη, αν και είναι ελαστική, εντούτοις παρουσιάζει αντίσταση όταν το ζυμάρι απλωθεί, και έτσι όταν το ζυμάρι αφεθεί ελεύθερο τότε παρατηρείται ότι αυτό επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Τα δύο αυτά συστατικά της γλουτένης, η γλιαδίνη και η γλουτενίνη δίνουν στο δίκτυο της γλουτένης τον ιξώδη και ελαστικό χαρακτήρα. Το δίκτυο της γλουτένης βοηθά στη συνεκτικότητα του ζυμαριού και έτσι περιορίζεται η διαφυγή των αερίων κατά

τη ζύμωση που πραγματοποιείται πριν το ψήσιμο και έτσι το ζυμάρι φουσκώνει (Atwell, W.A., 2001).

3.4.2 Άμυλο

Η λειτουργικότητα του αμύλου μεταβάλλεται κατά τη θέρμανση υπό την παρουσία νερού. Η ενδομοριακή μερικώς κρυσταλλική δομή των κοκκίων του αμύλου διασπάται και χάνεται η διπλοδιαθλαστικότητά του. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ζελατινοποίηση του αμύλου και πραγματοποιείται σε διαφορετικές θερμοκρασίες ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως το είδος του σπόρου, οι τιμή του pH, η ποσότητα του νερού (Belitz, H.D., 2004). Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης κατά την οποία τα κοκκία αποδιατάσσονται και η αμυλόζη με την αμυλοπικτίνη διασκορπίζονται κυμαίνεται από τους 52 – 85° C. Όταν τα μόρια του αμύλου ψυχθούν, τα δομικά συστατικά της αμυλόζης και της αμυλοπικτίνης επανενώνονται σε νέες κρυσταλλικές δομές, οι οποίες επιτρέπουν την πρόσδεση μορίων νερού σε αντίθεση με την αρχική κρυσταλλική δομή του αμύλου πριν τη ζελατινοποίηση (Atwell, W.A., 2001).

3.4.3 Άλλα συνδεδετικά μόρια του νερού στο αλεύρι και τα λιπίδια

Εκτός από τη γλουτένη και το άμυλο υπάρχουν και άλλα συστατικά του αλεύρου που προσλαμβάνουν ποσότητες νερού. Τέτοια συστατικά είναι οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, οι αραβινοξυλάνες όσο και οι β- γλυκάνες, οι οποίοι συγκρατούν πάνω από το ένα τρίτο (1/3) του νερού από το ζυμάρι του αλεύρου. Το κατεστραμμένο άμυλο παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση νερού, επειδή σε σχέση με το μη κατεστραμμένο άμυλο απορροφά περισσότερο νερό και είναι πιο ευαίσθητο στην ενζυμική υδρόλυση. Οι αρτοποιητικές ιδιότητες του αλεύρου και η χρήση του σε προϊόντα ζαχαροπλαστικής εξαρτώνται από την περιεκτικότητά του σε άμυλο, πρωτεΐνες, πεντόζες, λιπίδια και πρόσθετα όπως ζάχαρη, αλάτι και την δράση της α- αμυλάσης (El-Porai et al., 2013). Τα κοκκία αμύλου όταν είναι πιο λεπτόκοκκα, λόγω της άλεσης, τότε σε αυτά προσδένεται πιο πολύ νερό ανά μονάδα βάρους, σε σχέση με τους κοινούς κόκκους αμύλου, όπως παρατηρείται στον πίνακα. Στον ακόλουθο πίνακα (3.4.3.1.) υπολογίζονται τα ποσοστά νερού που συγκρατούν τα παραπάνω συστατικά του αλεύρου (Atwell, W.A., 2001).

Πίνακας 3.4.3.1.: Η ποσότητα νερού στο ζυμάρι σε ξηρή και βάση και σε 100 g αλεύρου (Πηγή: Atwell, W.A., 2001, p.37).

Συστατικά	Ποσότητα νερού			
	Ποσότητα ανά 100 g αλεύρου	(g/ g, ξηρή βάση)	(g/ 100 g αλεύρου)	Ποσοστό της κατανομής νερού
Άμυλο (ζελατινοποιημένο)	68
Λεπτόκοκκα κοκκία αμύλου		0,44	25,4	26,4
Κατεστραμμένο άμυλο		2,00	18,4	19,1
Πρωτεΐνες	14	2,15	30,0	31,2
Πεντόζες	1,5	15	22,5	23,4

Όσο για τα λιπίδια, αυτά μπορούν να παίξουν εξίσου σημαντικό λειτουργικό ρόλο στα προϊόντα αλεύρου. Τα προϊόντα κέικ ή ψωμιού που αποτελούνται από αλεύρι χωρίς λιπαρά, δεν έχουν πολύ μεγάλο όγκο και η υφή τους δεν είναι το ίδιο καλή σε σχέση με αυτά που προέρχονται από αλεύρι με λιπαρά. Σε πορώδη προϊόντα αλεύρου χαμηλής υγρασίας, όπως είναι τα δημητριακά πρωινού, τα λιπαρά μπορεί να υδρολυθούν σε λιπαρά οξέα και στη συνέχεια αυτά να οξειδωθούν. Η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστες οσμές που είναι ανεπιθύμητες (Atwell, W.A., 2001).

4. ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

4.1 Ορισμός και υπολογισμός ενεργότητας νερού

Ορίζοντας την ενεργότητα νερού (α ή α_w) σε ένα τρόφιμο, θα λέγαμε ότι είναι ο λόγος της μερικής πίεσης ατμών του περιβάλλοντος σε ισορροπία με το τρόφιμο (p) προς την τάση ατμών του καθαρού νερού (πίεση κορεσμού) (p°), στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Η εξίσωση που περιγράφει την ενεργότητα νερού είναι η ακόλουθη (4.1.1.)

$$\alpha = \frac{p}{p^\circ} = \frac{RH}{100} \quad (4.1.1.)$$

Στην παραπάνω εξίσωση ο όρος RH αναφέρεται στη σχετική υγρασία του χώρου σε ισορροπία με το τρόφιμο. Η σχετική υγρασία του τροφίμου είναι η ενεργότητα νερού του τροφίμου εκφρασμένη σε ποσοστό (%) επί της 100.

Η ενεργότητα νερού σε ένα ιδανικό διάλυμα ισούται με το μοριακό κλάσμα του νερού στο διάλυμα (X_w). Η ενεργότητα περιγράφεται από την ισότητα: $\alpha = X_w$ (4.1.2.).

Τα διαλύματα μεγαλύτερης συγκέντρωσης διαλυτού συστατικού αποκλίνουν από την ιδανική συμπεριφορά και για τον υπολογισμό της ενεργότητας του νερού εισάγεται ο συντελεστής ενεργότητας του διαλυμένου συστατικού (γ) στην ισότητα (4.1.2.), οπότε έχουμε την ισότητα $\alpha = \gamma X_w$ (4.1.3.). Τα τρόφιμα απέχουν από την ιδανική συμπεριφορά επειδή υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαλυμένων συστατικών και ορισμένα από τα διαλυτά συστατικά δεν βρίσκονται σε πραγματική διάλυση, επειδή είναι συνδεδεμένα με αδιάλυτα συστατικά, όπως π.χ. ορισμένα άλατα με τις πρωτεΐνες.

Για τον υπολογισμό της ενεργότητας νερού τροφίμου έχουν διατυπωθεί διάφορες εμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες στηρίζονται στη θεώρηση του τροφίμου ως μίγμα πολλών συστατικών και συνυπολογίζουν τη συμπεριφορά αυτών των συστατικών στη μείωση της ενεργότητας. Μία από τις αποδεκτές είναι η εξίσωση «Norrish» που υπολογίζει την ενεργότητα ενός συστατικού: $\alpha = X_w [\exp(kX_s^2)]$ (4.1.4.), όπου X_s είναι το γραμμομοριακό κλάσμα του διαλυμένου συστατικού και k η σταθερά που εξαρτάται από το διαλυμένο συστατικό. Η σταθερά k έχει προσδιοριστεί για πολλά διαλυτά συστατικά που απαντώνται σε τρόφιμα και στο γεγονός αυτό οφείλεται η ευρεία χρησιμοποίηση της εξίσωσης «Norrish». Κάποιες από τις τιμές της σταθεράς k φαίνονται στον πίνακα (4.1.).

Για διαλύματα περισσότερων συστατικών ο «Ross», με την παραδοχή ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαλυτών συστατικών του μίγματος είναι ασήμαντες, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ενεργότητα νερού ενός μίγματος με “i” συστατικά είναι ίση με «α_i» και ισούται με το γινόμενο των ενεργοτήτων νερού και των “i” συστατικών του μείγματος.

Η σχέση ισορροπίας του νερού μεταξύ του τροφίμου και της αέριας φάσης σε σταθερή θερμοκρασία μπορεί να αποδοθεί από τις καμπύλες ρόφησης. Αυτές συσχετίζουν την περιεκτικότητα του νερού στο τρόφιμο (υγρασία τροφίμου) με τη μερική πίεση ατμών στην αέρια φάση (p) ή με την ενεργότητα του νερού (α_w) (Rahman S., 1995)

Πίνακας 4.1.: Τιμές της σταθεράς *k* της εξίσωσης (4.1.4.), για διάφορα διαλυτά συστατικά. (Πηγή: Rahman S., 1995, pp. 179-392).

Συστατικό	<i>k</i>	Συστατικό	<i>k</i>
Σάκχαρα			
Γαλακτόζη	-2,24	Λακτόζη	-10,20
Γλυκόζη	-2,92	Μαλτόζη	-4,54
Πολυόλες			
Γλυκερόλη	-1,16	Ξυλιτόλη	-1,66
Μανιτόλη	-0,91		
Αμιδιά			
Αλανινή	-2,57	Γλυκίνη	+0,87
β- Αλανίνη	-2,52		
Οξέα			
A- Αμυνοβουτυρικό	-2,57	Μηλικό	-1,82
Γαλακτικό	-1,59	Τρυγικό	-4,68
Κιτρικό	-6,17		
Άλατα			
KCl	-10,81	NaCl	-17,48

4.2 Ενεργότητα νερού και σταθερότητα του τροφίμου

Η ενεργότητα νερού (α ή α_w) και οι ιδιότητες προσρόφησης των τροφίμων είναι σημαντικές φυσικές ιδιότητες, στις οποίες βασίζονται οι διεργασίες επεξεργασίας των τροφίμων. Η ενεργότητα νερού και οι ιδιότητες προσρόφησης σχετίζονται με την επεξεργασία απομάκρυνσης νερού που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε το τρόφιμο να καθοριστεί ως σταθερό. Η ενεργότητα είναι και μια θερμοδυναμική ιδιότητα.

Η ενεργότητα νερού είναι παράγοντας του φυσικού περιβάλλοντος που επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Ως ενεργότητα νερού δεν εννοούμε την περιεκτικότητα του τροφίμου ή την ποσότητα του νερού του περιβάλλοντος, αλλά την ποσότητα νερού του περιβάλλοντος

μέσου του μικροοργανισμού που είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη του μικροοργανισμού και την παραγωγή τοξινών (Taría et al., 2007).

Για να μεταβάλλουμε την ενεργότητα νερού από τη μια (1) μονάδα, αυτήν του καθαρού νερού έως το 0,86, θα πρέπει να προσθέσουμε στο διάλυμα 3,81 moles NaCl σε 1L διαλύματος (Νυχάς, Ε.Γ., 2013).

Οι μικροοργανισμοί δεν είναι ικανοί να μεταφέρουν μόρια νερού μόνοι τους μέσα στο κύτταρο, ούτε έχουν κάποιο μηχανισμό εξαγωγής νερού προς το υπόστρωμα του ενδαιτήματος. Αυτό που κάνουν είναι να προσπαθούν να εξισορροπούν την εσωτερική συγκέντρωση του νερού που περιέχουν με τη συγκέντρωση του νερού στο υπόστρωμα του ενδαιτήματός τους. Όταν η συγκέντρωση του νερού που περιέχουν είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση του νερού στο υπόστρωμα, αποβάλλουν νερό, ενώ εάν συμβαίνει το αντίθετο προσλαμβάνουν νερό από το υπόστρωμα. Στην πρώτη περίπτωση ο μικροοργανισμός αφυδατώνεται και μπορεί να δημιουργήσει ανθεκτικές μορφές που είναι τα σπόρια και στη δεύτερη περίπτωση ο μικροοργανισμός διογκώνει το κυτταρόπλασμά του (Καραγκούνη- Κύρτσου, Δ.Α., 1999).

Τα περισσότερα αλλοιογόνα βακτήρια δεν αυξάνονται σε τιμές a_w κάτω από 0,91, ενώ οι αλλοιογόνοι μύκητες μπορεί να αυξηθούν έως και 0,80 μονάδες ενεργότητας νερού. Τα Gram αρνητικά βακτήρια επίσης έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενεργότητα νερού από τα Gram θετικά. Εξαιρεση αποτελούν οι αλόφιλοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι απαιτούν το ιόν του Na^+ για να αναπτυχθούν (Madigan et al., 2005). Ανάλογα με τη συγκέντρωση της ποσότητας NaCl που απαιτούν για την ανάπτυξή τους, τους χωρίζουμε σε ηπίως αλόφιλους (1-6%), μετρίως αλόφιλους (6-15%) και ακραίως αλόφιλους μικροοργανισμούς (15-30%). Τα περισσότερα βακτήρια δεν αναπτύσσονται σε υπόστρωμα υψηλής οσμωτικότητας και κατά συνέπεια χαμηλού a_w . Στους ωσμόφιλους μικροοργανισμούς κατατάσσονται οι ζύμες, που αντέχουν να περιβάλλονται από διαλύματα υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρα. Σε γενικές γραμμές σε τιμές ενεργότητας a_w χαμηλότερες από 0,61 μόνο οι ζύμες και οι μύκητες επιβιώνουν. Κατηγορία μυκήτων που ανήκουν στους ξηρόφιλους και επιβιώνουν σε χαμηλές ενεργότητες (a_w) είναι οι ξηροφιλικοί ζυμομύκητες (Beuchat ., 1981).

Πίνακας 4.2.: Τιμές διακύμανσης της ενεργότητας νερού για κάποιες από τις πιο γνωστές κατηγορίες τροφίμων. (Πηγή: Jay et al., 2005, p.448).

Κατηγορίες προϊόντων	Κύμανση a_w
Αποξηραμένα φρούτα	0,60- 0,75
Κέικ και προϊόντα ζαχαροπλαστικής	0,60 – 0,90
Παγωμένα τρόφιμα	0,60 – 0,90
Σάκχαρα, σιρόπι	0,60 – 0,75
Γλυκά	0,60 – 0,65
Κρέμες ζαχαροπλαστικής για γέμισμα	0,65 – 0,71
Δημητριακά (συγκεκριμένα)	0,65 – 0,75
Κέικ φρούτων	0,73 – 0,83
Μέλι	0,75
Συμπυκνωμένος χυμός φρούτων	0,79 – 0,84
Μαρμελάδες	0,90 – 0,91
Συμπυκνωμένο γάλα γλυκό	0,83
Ζυμούμενα λουκάνικα (συγκεκριμένα)	0,83 – 0,87
Σιρόπι Σφενδάμου	0,90
Ωριμα Τυριά (συγκεκριμένα)	0,96
Μη ζυμούμενα λουκάνικα	0,96

4.3 Μέθοδοι προσδιορισμού της ενεργότητας νερού (a_w)

Οι κυριότερες μέθοδοι προσδιορισμού των ισόθερμων καμπυλών υγρασίας διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: 1) μανομετρικές, 2) υγρομετρικές και 3) βαρυματρικές. Οι μέθοδοι προσδιορισμού της ενεργότητας νερού συνοψίζονται στον πίνακα 4.3.1.

Πίνακας 4.3.1.: Μέθοδοι προσδιορισμού ισόθερμων ρόφησης. (Πηγή: Rahman et al., 2009).

Μέθοδοι αθροιστικών ιδιοτήτων
<ol style="list-style-type: none"> 1. Μέτρηση τάσης ατμών 2. Μέτρηση σημείου κατάψυξης 3. Μέτρηση σημείου βρασμού
Σταθμικές μέθοδοι
<ol style="list-style-type: none"> 1. Μέθοδοι ασυνεχούς καταγραφής των μεταβολών μάζας <ol style="list-style-type: none"> α. Στατικά συστήματα (ισοπιεστική μέθοδος) β. Συστήματα εκκένωσης γ. Δυναμικά συστήματα 2. Μέθοδοι συνεχούς καταγραφής των μεταβολών μάζας <ol style="list-style-type: none"> α. Στατικού θαλάμου β. Δυναμικά συστήματα γ. Συστήματα εκκένωσης
Υγρομετρικά συστήματα
<ol style="list-style-type: none"> 1. Μηχανικά υγρόμετρα 2. Υγρόμετρα υγρού και ξηρού βολβού 3. Υγρόμετρα σημείου δρόσου 4. Υγροσκοπικότητα αλάτων 5. Υγρόμετρα ηλεκτρονικού αισθητηρίου
Άλλες μέθοδοι

Οι μανομετρικές μέθοδοι βασίζονται στη μέτρηση της τάσης των υδρατμών σε ισορροπία με ένα τρόφιμο σε μια συγκεκριμένη υγρασία. Η μέτρηση της τάσης των υδρατμών γίνεται με μανόμετρα ακριβείας (συνήθως ελαίου).

Οι υγρομετρικές μέθοδοι βασίζονται στη μέτρηση της σχετικής υγρασίας του χώρου που βρίσκεται σε ισορροπία με ένα τρόφιμο σε συγκεκριμένη υγρασία. Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας γίνεται με τους τρεις ακόλουθους τρόπους, όπως αυτοί περιγράφονται παρακάτω. Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του σημείου δρόσου του χώρου στον οποίο έχει ισορροπήσει το τρόφιμο. Ο προσδιορισμός του σημείου δρόσου γίνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας μιας ψυχόμενης επιφάνειας (συνήθως καθρέπτης), επί της οποίας συμπυκνούνται οι υδρατμοί. Στα όργανα ακριβείας ο εντοπισμός της έναρξης της συμπύκνωσης των υδρατμών γίνεται φωτοηλεκτρικά. Με τα όργανα αυτά μπορεί να επιτύχει κανείς ακρίβεια μέχρι και 0,003 a_w στην περιοχή 0,75 – 0,99. Σε χαμηλότερες τιμές a_w η ακρίβεια είναι μικρότερη. Από το σημείο δρόσου υπολογίζεται η σχετική υγρασία του χώρου με τον οποίο βρίσκεται σε ισορροπία το δείγμα και από τη σχετική υγρασία του χώρου υπολογίζεται η ενεργότητα νερού του δείγματος. Ο δεύτερος τρόπος μέτρησης της σχετικής υγρασίας περιλαμβάνει τη χρήση αισθητηρίων των οποίων η ηλεκτρική αγωγιμότητα ή η χωρητικότητα σε υγρασία μεταβάλλεται. Τα αισθητήρια αυτά συνήθως επικαλύπτονται με κάποιο υγροσκοπικό αλάτι, π.χ. LiCl, το οποίο απορροφά υγρασία από το χώρο μέχρι να αποκτήσει την ίδια ενεργότητα νερού με αυτήν του τροφίμου. Μετρώντας λοιπόν την αγωγιμότητα του αισθητηρίου ή τη χωρητικότητά του σε υγρασία, προσδιορίζεται η ενεργότητα νερού του τροφίμου. Η τελευταία και λιγότερο ακριβής υγρομετρική μέθοδος χρησιμοποιεί για τον προσδιορισμό της σχετικής υγρασίας υγρόμετρο με τρίχα, το μήκος της οποίας μεταβάλλεται με την μεταβολή της υγρασίας του χώρου που βρίσκεται σε ισορροπία με το τρόφιμο.

Οι βαρυμετρικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στη μέτρηση της ενεργότητας νερού a_w των δειγμάτων του πειράματος βασίζονται στην αποκατάσταση της ισορροπίας του δείγματος μέσα σε ένα χώρο γνωστής σχετικής υγρασίας και σταθερής θερμοκρασίας. Στην ισορροπία η ενεργότητα νερού a_w του δείγματος είναι ίση με τη σχετική υγρασία του χώρου διαιρούμενη δια 100, όπως φαίνεται στην εξίσωση (4.3.1.)

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\text{Σχετική υγρασία (\%)}}{100} \quad (4.3.1.)$$

όπου, P: Πίεση ατμών νερού στο τρόφιμο

P_0 : Πίεση ατμών καθαρού νερού

α_w : ενεργότητα νερού

Ο προσδιορισμός του σημείου ισορροπίας βασίζεται στην καταγραφή της μεταβολής του βάρους του δείγματος, το οποίο παραμένει στο χώρο σταθερής σχετικής υγρασίας, μέχρις ότου αποκτήσει σταθερό βάρος. Η μέτρηση του βάρους γίνεται είτε με χρήση στατικής μεθόδου με την κατά διαστήματα ζύγιση με ζυγό ακριβείας, είτε με δυναμική μέθοδο, όπου γίνεται χρήση ηλεκτρικής ζυγαριάς ή ελατηρίου ακριβείας με συνεχείς ζυγίσεις. Η συνηθέστερη μέθοδος δημιουργίας περιβάλλοντος με σταθερή σχετική υγρασία είναι με τη χρησιμοποίηση είτε κορεσμένων διαλυμάτων συγκεκριμένων αλάτων είτε με τη χρήση θειικού οξέος σε διάφορες συγκεντρώσεις. Στον Πίνακα (4.3.2.) δίνονται οι τιμές της ενεργότητας νερού ορισμένων αλάτων που συνήθως χρησιμοποιούνται, σε διαφορετικές θερμοκρασίες, των 5^ο C, των 10^ο C, των 20^ο C, των 25^ο C, των 30^ο C, των 40^ο C και των 50^ο C. Στον Πίνακα (4.3.3.) δίνονται οι τιμές της ενεργότητας νερού για διαλύματα θειικού οξέος στις παραπάνω θερμοκρασίες.

Πίνακας 4.3.2.: Ενεργότητα νερού σε ορισμένα κορεσμένα διαλύματα αλάτων (Άσκηση ενεργότητας νερού, Σ. Γιαννιώτης).

Αλάτι	Ενεργότητα νερού						
	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C
Χλωριούχο λίθιο	0,113	0,113	0,113	0,113	0,113	0,112	0,111
Οξικό κάλιο	-	0,234	0,231	0,225	0,216	-	-
Χλωριούχο μαγνήσιο	0,336	0,335	0,331	0,328	0,324	0,316	0,305
Ανθρακικό κάλιο	0,431	0,431	0,432	0,432	0,432	-	-
Νιτρικό μαγνήσιο	0,589	0,574	0,544	0,529	0,514	0,484	0,454
Βρομιούχο νάτριο	0,635	0,622	0,591	0,576	0,560	0,532	0,509
Ιωδιούχο κάλιο	0,733	0,721	0,699	0,689	0,679	0,661	0,645
Χλωριούχο στρόντιο	0,771	0,757	0,725	0,709	0,691	-	-
Χλωριούχο νάτριο	0,757	0,757	0,755	0,753	0,751	0,747	0,744
Θειικό αμμώνιο	0,824	0,821	0,813	0,810	0,806	0,799	0,792
Χλωριούχο κάλιο	0,877	0,868	0,851	0,843	0,836	0,823	0,812
Νιτρικό κάλιο	0,963	0,960	0,946	0,936	0,923	0,890	0,848
Θειικό κάλιο	0,985	0,982	0,976	0,973	0,970	0,964	0,958

Πίνακας 4.3.3.: Ενεργότητα νερού σε διαλύματα θειικού οξέος (Άσκηση ενεργότητας νερού, Σ. Γιαννιώτης).

H ₂ SO ₄ %	Πυκνότητ α 25°C g/cm ³	Ενεργότητα νερού						
		5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C
5	1,0300	0,980	0,980	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
10	1,0640	0,955	0,956	0,956	0,956	0,956	0,957	0,957
15	1,0994	0,923	0,923	0,924	0,924	0,925	0,925	0,926
20	1,1365	0,877	0,878	0,880	0,881	0,881	0,883	0,885
25	1,1750	0,817	0,818	0,822	0,824	0,825	0,829	0,832
30	1,2150	0,740	0,743	0,749	0,752	0,755	0,760	0,766
35	1,2563	0,646	0,651	0,661	0,665	0,669	0,677	0,685
40	1,2991	0,542	0,548	0,560	0,566	0,571	0,582	0,591
45	1,3437	0,432	0,439	0,452	0,459	0,465	0,478	0,489
50	1,3911	0,324	0,331	0,344	0,351	0,357	0,370	0,383
55	1,4412	0,226	0,232	0,244	0,250	0,256	0,269	0,281
60	1,4940	0,142	0,147	0,157	0,163	0,168	0,178	0,189
65	1,5490	0,079	0,082	0,090	0,093	0,097	0,105	0,114
70	1,6059	0,036	0,038	0,042	0,044	0,047	0,052	0,058
75	1,6644	0,013	0,014	0,017	0,018	0,019	0,022	0,025
80	1,7221	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,077	0,009

Οι ισόθερμες καμπύλες ενός προϊόντος παρατηρούνται να διαφοροποιούνται σε διαφορετικές ερευνητικές μελέτες που δημοσιεύονται. Οι διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται στην ανομοιομορφία της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται, αλλά και στις διαφορές των οργάνων μέτρησης και της διαδικασίας που ακολουθείται κατά τη μέτρηση. Για να περιοριστούν οι διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων, έγινε μια προσπάθεια για να δημιουργηθεί μια τυποποιημένη μέθοδος μέτρησης ισόθερμων καμπύλων υγρασίας στα τρόφιμα. Η τυποποιημένη μέθοδος η οποία καθιερώθηκε για τη μέτρηση των καμπύλων υγρασίας και αναφέρεται σε μια βαρυμετρική μέθοδο (στατική), χρησιμοποιεί ως πρότυπο ουσία την μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (MCC), της οποίας προσδιορίστηκε με ακρίβεια η ισόθερμος καμπύλη στους 25°C. Η πρότυπη καμπύλη της μικροκρυσταλλικής κυτταρίνης προσδιορίστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος COST -90, το οποίο αφορούσε τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων των τροφίμων. Τα άλατα τα οποία χρησιμοποιούνται με βάση την τυποποιημένη μέθοδο για την αποτύπωση των καμπύλων υγρασίας είναι τα ακόλουθα, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα (4.3.4.)

Πίνακας 4.3.4: Άλατα που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της πρότυπης καμπύλης της μικροκρυσταλλικής (Άσκηση ενεργότητας νερού, Σ. Γιαννιώτης).

ΑΛΑΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ
LiCl	0,11
CH ₃ COOK	0,23
MgCl ₂	0,33
K ₂ CO ₃	0,44
Mg(NO ₃) ₂	0,53
NaBr	0,58
SrCl ₂	0,71
NaCl	0,75
KCl	0,84
BaCl ₂	0,90

4.4 Μεθοδολογία που προτείνεται από το COST-90

Για τον προσδιορισμό ισόθερμων καμπύλων υγρασίας προτείνεται η χρήση βαρυμετρικής μεθόδου. Δημιουργείται ένα περιβάλλον σταθερής σχετικής υγρασίας μέσα σε γυάλες που κλείνουν ερμητικά. Στον πυθμένα της γυάλας τοποθετείται το δείγμα μέσα σε φιαλίδια ζυγίσεως με εκσμηρισμένο πώμα. Τα άλατα που χρησιμοποιούνται σε μια ενδεικτική περίπτωση θα μπορούσαν να είναι δέκα διαφορετικά, αντίστοιχα με αυτά που βρίσκονται παραπάνω στον Πίνακα 4.3. 4. Σε κάθε γυάλα χρησιμοποιείται διαφορετικό άλας και τοποθετούνται πέντε φιαλίδια ζυγίσεως. Οι γυάλες κατά τη διάρκεια του πειράματος πρέπει να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία ($\pm 0,2$ °C). (Άσκηση ενεργότητας νερού, Σ. Γιαννιώτης)

4.5 Ισόθερμες Καμπύλες

4.5.1 Μαθηματικά μοντέλα για τις ισόθερμες

4.5.1.1 Μαθηματικά μοντέλα των BET και GAB

Η ισόθερμη καμπύλη υγρασίας αποτυπώνει τη σχέση μεταξύ της ισορροπίας του νερού που περιέχεται στο τρόφιμο και της ενεργότητας νερού του τροφίμου σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες και συνθήκες πίεσης (Labuza, 1968). Οι ισόθερμες καμπύλες έχουν μεγάλη χρησιμότητα, επειδή χάρη σε αυτές μπορεί να προσδιοριστούν η μικροβιακή σταθερότητα και η ασφάλεια του τροφίμου, καθώς και τα υλικά συσκευασίας, αλλά και τα

μοντέλα σχεδιασμού ξήρανσης κα οι αλλαγές που συμβαίνουν στο ποσοστό υγρασίας του τροφίμου κατά την αποθήκευση (Sablan et al., 2007).

Αν και υπάρχουν αρκετά μαθηματικά μοντέλα, θεωρητικά και εμπειρικά, για την αποτύπωση των ισόθερμων καμπυλών των υλικών των τροφίμων, καμία εξίσωση δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα για τον τρόπο που μεταβάλλεται η δραστηριότητα του νερού στα υλικά των τροφίμων για όλα τα είδη τροφίμων (Al-Muhtaseb et al., 2002). Ο «Van den Berg and Bruin» (1981) ταξινόμησε τα 77 πιο σημαντικά μοντέλα σε τρεις ομάδες: την ομάδα των θεωρητικών (48), την ομάδα των πρακτικών θεωρητικών (15) και τα εμπειρικά μοντέλα (14) (Blahovec, & Yanniotis, 2009).

Η πιο σημαντική συνάρτηση μεταξύ των θεωρητικών μοντέλων είναι η συνάρτηση «Langmuir», η οποία βασίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ της επιφάνειας που προϊόντος και του νερού που έχει προέλθει από το συμπυκνωμένο ατμό που λειτουργεί ως μονομοριακό στρώμα. Η συνάρτηση έχει την ακόλουθη μορφή: $\alpha_w (1/W - 1/W_{bm}) = 1/C * W_{bm}$, όπου W είναι η ποσότητα νερού του τροφίμου που μειώνεται μέχρι να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας το προϊόν (kg νερού/ kg ξηράς ουσίας), W_{bm} είναι το περιεχόμενο νερού του μονομοριακού στρώματος που αυξάνεται μέχρι να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας το προϊόν (kg νερού/ kg ξηράς ουσίας), όπου οι δεσμοί νερού είναι πολύ ισχυροί και C είναι η σταθερά (Andrade et al., 2011).

Τα μοντέλα των BET και GAB είναι επεκτάσεις της συνάρτησης «Langmuir», και πολλαπλασιάζουν το μονομοριακό στρώμα σε περισσότερα, καταφέροντας να περιγράψουν με μια σιγμοειδή παράσταση τις ισόθερμες καμπύλες βιολογικής προέλευσης (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009). Η GAB ισόθερμη είναι ιδιαίτερα επιτυχής στην περιγραφή ενεργοτήτων νερού μεγαλύτερων από 0,9 (Van den Berg, 1984).

Η εξίσωση των Guggenheim–Anderson–de Boer (GAB) θεωρείται το πιο ευέλικτο μοντέλο προσδιορισμού της ισόθερμης καμπύλης υγρασίας (Furmaniak et al., 2009), καθώς παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα περιγραφής του φαινομένου της ρόφησης σε μιας ευρείας κλίμακας ενεργότητας νερού. Η ενυδάτωση των τροφών μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα μέσω της θεωρίας των κέντρων προσρόφησης, παρά μέσω της θεωρίας των άπειρων στρωμάτων νερού, όπως περιγράφεται από το μοντέλο Brunauer–Emmett–Teller (BET) (Martin-Santos et al., 2012).

Η συνάρτηση «Brunauer» είναι μια εξίσου σημαντική συνάρτηση περιγραφής των ισόθερμων καμπυλών, καθώς καταφέρνει να περιγράψει την αύξηση της ενεργότητας νερού όταν η ποσότητα του νερού στο τρόφιμο αυξάνεται. Οι σιγμοειδείς καμπύλες, όπως αυτές των συναρτήσεων BET και GAB, αναφέρονται στην κατανομή τύπου II των συναρτήσεων «Brunauer», όπου θεωρείται ότι η εσωτερική επιφάνεια των υλικών των τροφίμων είναι πολυστρωματική. Οι ισόθερμες καμπύλες τύπου III είναι σχετικά σπάνιες και χρησιμοποιούνται συνήθως στην περίπτωση διάλυσης στερεού σε υγρό. Οι πιο πολύπλοκες καμπύλες είναι αυτές του τύπου IV και του τύπου V της

ταξινόμησης κατά «Brunauer», οι οποίες συνήθως αξιοποιούνται στην περίπτωση τριχοειδούς συμπύκνωσης, όπου η ρόφηση εξαρτάται από την κατανομή των πόρων διαφόρων διαστάσεων (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009).

Η εξίσωση BET (Brunauer – Emmet – Teller), η οποία προσεγγίζει την ισόθερμη ρόφησης πολυστρωματικά, υπολογίζει την ποσότητα νερού που προσδένεται σε συγκεκριμένα πολικά και αφυδατωμένα συστήματα και έχει τις μορφές (4.5.1.1.1) ή (4.5.1.1.2.) :

$$W = \frac{W_{bm} C a}{(1 - a)[1 + (C - 1)a]} \quad (4.5.1.1.1)$$

$$\text{ή } \frac{a}{w(1-a)} = \frac{1}{w_{bm} C} + \frac{C-1}{w_{bm} C} a \quad (4.5.1.1.2)$$

όπου, a είναι η ενεργότητα νερού,

W είναι η υγρασία του τροφίμου (kg H₂O / kg ξηρού στερεού),

W_{bm} είναι η τιμή μονομοριακού στρώματος (kg H₂O / kg ξηρού στερεού) και

C είναι σταθερά (Andrade et al., 2011).

Η ποσότητα νερού του μονομοριακού στρώματος είναι η ποσότητα νερού που έχει απορροφηθεί από τα πολικά μόρια και τα ιόντα και συμπεριφέρεται σαν να βρίσκεται σε υγρή φάση. Κατά συνέπεια η εξίσωση BET χρησιμοποιείται όπου απαιτείται ο προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών υγρασίας, κυρίως σε αφυδατωμένα προϊόντα (Andrade et al., 2011).

Η εξίσωση GAB (Guggenheim – Anderson – de Boer):

$$W = \frac{W_{bm} C K a}{(1 - K a)(1 - K a + C K a)} \quad (4.5.1.1.3)$$

όπου, W_{bm} τιμή μονομοριακού στρώματος (kg H₂O / kg ξηρού στερεού)

K, C σταθερές που σχετίζονται με την επίδραση της θερμοκρασίας.

Με $C = c_0 \exp (H_0 - H_n / RT)$ και $K = k_0 \exp (H_n - H_i / RT)$, όπου c_0, k_0 είναι οι παράγοντες εντροπίας και H_0, H_n και H_i αντίστοιχα οι μοριακές ενθαλπίες ρόφησης του μονομοριακού στρώματος, των πολυστρωματικών στοιβάδων που βρίσκονται πάνω από το προηγούμενο και τέλος η ενθαλπία του υγρού. R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία.

Αυτό το μοντέλο βασίζεται στο ότι τα μόρια ρόφησης του δεύτερου στρώματος είναι παρόμοια με τα μόρια των ανώτερων στρωμάτων, αλλά και διαφορετικά από αυτά της υγρής κατάστασης. Αποδόθηκε η έννοια ενός δεύτερου σταδίου ρόφησης των μορίων της προσροφούσας ουσίας, όπου και διαφοροποιείται ως καλό υλικό ρόφησης. Η σταθερά K , η οποία υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ του χημικού δυναμικού των μορίων που βρίσκονται στο δεύτερο στάδιο και αυτών που βρίσκονται σε υγρή φάση, εισάγεται στο

μοντέλο αυτό. Όταν η σταθερά είναι $K = 1$, τότε το μοντέλο GAB και BET γίνονται όμοια.

Ο υπολογισμός των σταθερών της εξίσωσης GAB στηρίζεται στο μετασχηματισμό της εξίσωσης (4.5.1.1.3) (Andrade et al., 2011) στην:

$$\frac{a}{w} = \frac{K}{W_{bm}} \left(\frac{1}{C} - 1 \right) a^2 + \frac{1}{W_{bm}} \left(1 - \frac{2}{C} \right) a + \frac{1}{W_{bm} CK} \quad (4.5.1.1.4)$$

Οι συντελεστές του πολυωνύμου της (4.5.1.1.4) προσδιορίζονται με πολυωνυμική προσέγγιση της καμπύλης που προκύπτει αν κατασκευαστεί διάγραμμα a/w ως προς a με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Αξιοποιήθηκε το μοντέλο GAB (4.5.1.1.3) το οποίο δίνει αποτελέσματα που ταιριάζουν με τα θεωρητικά σε παρόμοιες μελέτες που έγιναν σε βιολογικά προϊόντα (Sablani et al., 2007; Timmermann et al., 2001; Iglesias, H.A. and Chirife, J., 1995; Chirife et al., 1992). Από την παραβολική εξίσωση:

$$\frac{a_w}{W} = \alpha + \beta a_w - \gamma a_w^2$$

η οποία προκύπτει από το μοντέλο GAB με $\alpha = 1/W^* C^*k$, $\beta = (C - 2)/W^* C$ και $\gamma = -(C - 1) * k/W^* C$, υπολογίζονται τα $k = (f^{1/2} - \beta)/2\alpha$,

$$W_m = f^{1/2} = 1/(\beta + 2\alpha) = k/(k^2\alpha - \gamma),$$

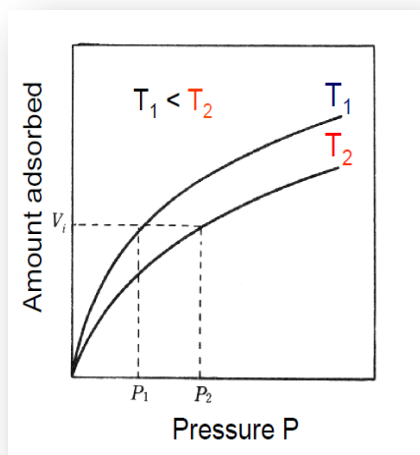
$C = 1 - \gamma/k^2\alpha = 2 + \beta/k\alpha = f^{1/2} / k\alpha$, όπου Διακρίνουσα $f^{1/2} = \beta^2 - 4\alpha\gamma$ (Timmermann et al., 2001).

Το μοντέλο GAB χωρίζεται και σε δύο όρους, ο πρώτος περιγράφει το μονομοριακό στρώμα και ο δεύτερος όρος περιγράφει την πολυστρωματική προσρόφηση που αντιστοιχεί και στο νόμο του Raoult, όπως φαίνεται στην εξίσωση (4.5.1.1.5) (Andrade et al., 2011):

$$\frac{W}{W_{bm}} = \frac{(C - 1)Ka}{(1 - Ka + CKa)} + \frac{Ka}{(1 - Ka)} \quad (4.5.1.1.5)$$

Οι εξισώσεις της θερμοδυναμικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση των φαινομένων ρόφησης, καθώς αντιμετωπίζουν το φαινόμενο ενδογενώς εξετάζοντας τις ιδιότητες του νερού και τις ενεργειακές απαιτήσεις. Στο σημείο αυτό μια σημαντική θερμοδυναμική παράμετρος είναι η «ισοστερική θερμότητα προσρόφησης», η οποία ορίζεται ως η θερμότητα της ρόφησης του τροφίμου μειωμένη κατά τη θερμότητα που χρειάζεται το καθαρό νερό για να εξατμιστεί, στη θερμοκρασία του συστήματος (Tsami et al., 1990; McLaughlin & Magee, 1998). Αυτή η παράμετρος αποτελεί ένα δείκτη της ρόφησης, αλλά και της φυσικής, χημικής και μικροβιολογικής σταθερότητας του τροφίμου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες συντήρησης (McMinn et al., 2007). Η ισοστερική θερμότητα προσρόφησης μπορεί να περιγραφεί και από τη σχετική μεταβολή της ενθαλπίας κατά την προσρόφηση προς τη μεταβολή της ποσότητας νερού που προσροφάται. Περιγράφεται από την εξίσωση «Clausius –Clapeyron» που δείχνει ότι σε μεγαλύτερη θερμοκρασία για να

έχουμε το ίδιο ποσοστό προσρόφησης πρέπει να μειωθεί η πίεση. Όσο αυξάνεται η ποσότητα νερού που προσροφάται από την ουσία, τόσο η ισοστερική θερμοότητα μειώνεται και αυτό επειδή, όπως έχουμε πει η προσρόφηση είναι μια εξώθερμη αντίδραση (Weisser, ., 1985; Dural, . & Anthony, 1993).



Σχήμα 4.5.1.1: Η προσρόφηση είναι εξώθερμη αντίδραση $\Delta h < 0$ και ευνοείται από τη μικρότερη θερμοκρασία (Πηγή: Trunschke. A., 2013).

4.5.1.2 Μαθηματικά μοντέλα γενικεύσεων της GAB

Στην BET όσο και στην GAB κατά τη διαδικασία της ρόφησης περιγράφεται η δημιουργία αρχικά ενός μονομοριακού στρώματος και η περίσσεια του νερού δημιουργεί τις πολυστρωματικές στοιβάδες. Η GAB φαίνεται να ταιριάζει καλύτερα σε σχέση με το μοντέλο BET στην περιγραφή των πειραματικών δεδομένων του φαινομένου ρόφησης, επειδή αναφέρεται σε πολυστρωματικές στοιβάδες και δεν αντιμετωπίζει όλη την περιοχή ρόφησης ως περιοχή που επικρατούν οι ιδιότητες του νερού. Ο δεύτερος παράγοντας της εξίσωσης (4.5.1.5) που περιγράφει τις πολυστρωματικές στοιβάδες δείχνει ότι δεν είναι τόσο στενά συνδεδεμένα τα μόρια των στοιβάδων αυτών σε σχέση με τα μόρια του μονομοριακού στρώματος. Για να περιγραφούν όσο γίνεται καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα, το μοντέλο GAB απέκτησε πιο πολλούς βαθμούς ελευθερίας. Οι πολυστρωματικές στοιβάδες χωρίστηκαν σε στρώματα, όπου σε κάποιο από αυτά τα στρώματα, τα μόρια του νερού έχουν τις ιδιότητες του καθαρού νερού και έτσι το μοντέλο της GAB απέκτησε και τέταρτη παράμετρο, ώστε να περιγράφει αυτό το στρώμα σε μεγάλες ενεργότητες νερού από $\alpha = 0,9$ (Blahovec, ., Yanniotis, ., 2009).

Η συνολική ποσότητα υγρασίας που προσροφάται σε ξηρή βάση (W_{ab}), δεδομένου ότι μια ποσότητα νερού απορροφάται από την ουσία, και

μια άλλη ποσότητα νερού αποτελεί το μέσο διάλυσης των διαλυτών συστατικών (m_s), εκτός από τα συστατικά που είναι αδιάλυτα, υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Blahovec, ., Yanniotis, ., 2009):

$$W_{db} = \frac{m_L + m_s}{m_{DML} + m_{DMs}} = \frac{1}{m_{DML} + m_{DMs}} (w_L m_{DML} + w_s m_{DMs})$$

$$= \frac{1}{1+r} (w_L + r w_s) \quad (4.5.1.2.1)$$

όπου, $r = \frac{m_{DMs}}{m_{DML}}$: η αναλογία της διαλυτής και μη διαλυτής ξηρής ποσότητας ουσίας,

m_L : το νερό σε ξηρή βάση που συγκρατείται από τα ενεργά κέντρα της ουσίας «Langmuir's water»,

m_s : το νερό σε ξηρή βάση που διαλύει τη διαλυτή μάζα της ουσίας,

m_{DML} : μάζα της μη διαλυτής ξηρής ποσότητας ουσίας «Langmuir's DM»,

m_{DMs} : μάζα της διαλυτής ξηρής ποσότητας ουσίας,

w_L : το περιεχόμενο υγρασίας σε ξηρή βάση της μη διαλυτής ξηρής ποσότητας ουσίας (kg H₂O / kg ξηρού στερεού),

w_s : το περιεχόμενο υγρασίας σε ξηρή βάση της διαλυτής ξηρής ποσότητας ουσίας (kg H₂O / kg ξηρού στερεού),

Αντικαθιστώντας το w_L και w_s στην (4.5.1.2.1) έχουμε λόγω των (4.5.1.2.2) και (4.5.1.2.3):

$$w_L = \frac{C_L w_m a_w}{1 + C_L a_w} \quad (4.5.1.2.2)$$

όπου, C_L : κινητική σταθερά που συνδέεται με τη ρόφηση στο μονομοριακό στρώμα,

w_m : περιεχόμενη υγρασία σε ξηρή βάση στο μονομοριακό στρώμα,

a_w : ενεργότητα νερού, και

$$w_s = \frac{M_w}{M_s} \frac{a_w}{\gamma - a_w} = \frac{m_s}{m_{DMs}} \quad (4.5.1.2.3)$$

όπου, M_w : η μοριακή μάζα του νερού,

M_s : η μοριακή μάζα της διαλυτής ξηρής ουσίας,

γ : ο συντελεστής της μέσης ενεργότητας νερού.

Άρα η (4.5.1.2.1) γίνεται (4.5.1.2.4):

$$W_{db} = \frac{1}{1+r} \left(\frac{C_L w_m a_w}{1 + C_L a_w} + \frac{r M_w}{M_s} \frac{a_w}{\gamma - a_w} \right)$$

$$= a_w \left(\frac{1}{a_1 + b_1 a_w} + \frac{1}{a_2 - b_2 a_w} \right) \quad (4.5.1.2.4)$$

όπου, $a_1 = \frac{1+r}{C_L w_m}$, $b_1 = \frac{1+r}{w_m}$,

$$\alpha_2 = \frac{1+r}{r} \frac{\gamma M_s}{M_w}, \quad b_2 = \frac{1+r}{r} \frac{M_s}{M_w}$$

Άρα τελικά η εξίσωση (4.5.1.2.4) μεταφέρεται παρακάτω, που δείχνει τη συνολική ποσότητα υγρασίας που προσροφάται ανά ξηρή μάζα, αποτελείται τελικά από δύο όρους, ο πρώτος αναφέρεται στην ποσότητα του νερού που συνδέεται με τα ενεργά κέντρα των μη διαλυτών συστατικών της ουσίας- επιφανειακή προσρόφηση- και ο δεύτερος όρος αναφέρεται στο νερό που παίζει το ρόλο του διαλύτη για όλα τα διαλυτά συστατικά της ουσίας- διαλύτης (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009).

$$W = \left(\frac{a_w}{a_1 + b_1 a_w} + \frac{a_w}{a_2 - b_2 a_w} \right) \quad (4.5.1.2.4)$$

Η εξίσωση (4.5.1.2.4) (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009) (δίνει την αναλογία ενεργότητας προς τη συνολική ποσότητα προσροφόμενου νερού: $\frac{a_w}{W} = \frac{A}{D} + \frac{B}{D} a_w - \frac{C_1}{D} a_w^2$ (4.5.1.2.5)

όπου, w_m : περιεχόμενη υγρασία σε ξηρή βάση στο μονομοριακό στρώμα, a_w : ενεργότητα νερού, και ($A = \alpha_1 \alpha_2$, $B = \alpha_2 b_1 - \alpha_1 b_2$, $C_1 = b_1 b_2$, $D = \alpha_1 + \alpha_2$):

$$\frac{A}{D} = \frac{1}{w_m K C}$$

$$\frac{B}{D} = \frac{1}{C w_m} (C - 2)$$

$$\frac{C_1}{D} = \frac{K}{C w_m} (C - 1)$$

όπου, K , C παράμετροι της GAB (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009).

Εισάγοντας τις παραμέτρους X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , η αναλογία $\frac{a_w}{W}$ ορίζεται:

$$\frac{a_w}{W} = X_1 + (X_2 - X_1 X_4) a_w - (X_3 + X_2 X_4 - X_1 X_4^2) \frac{a_w^2}{1 + X_4 a_w} \quad (4.5.1.2.6)$$

$$\text{όπου, } X_1 = \frac{A}{D} = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad X_2 = \frac{B}{D} = \frac{\alpha_2 b_1 - \alpha_1 b_2}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

$$X_3 = \frac{C_1}{D} = \frac{b_1 b_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad X_4 = \frac{E}{D} = \frac{b_1 - b_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Η αναλογία της ενεργότητας προς της προσροφούμενη ποσότητα νερού μετατρέπεται από την ισότητα (4.5.1.2.6) στην (4.5.1.2.7) (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009):

$$\frac{\alpha_w}{w} = X_1 + X'_2 \alpha_w - X'_3 \frac{\alpha_w^2}{1+X_4 \alpha_w} \quad (4.5.1.2.7),$$

Χρησιμοποιώντας νέες παραμέτρους X'_2 και X'_3

$$X'_2 = X_2 - X_1 X_4$$

$$X'_3 = X_3 + X_2 X_4 - X_1 X_4^2 = X_3 + X'_2 X_4$$

Μια ακόμα γενίκευση του μοντέλου της GAB είναι η (4.5.1.2.8) (Blahovec, J., Yanniotis, S., 2008):

$$\frac{a_w}{W} = \alpha' + b' a_w + c' a_w^2 + d' a_w^3 \quad (4.5.1.2.8)$$

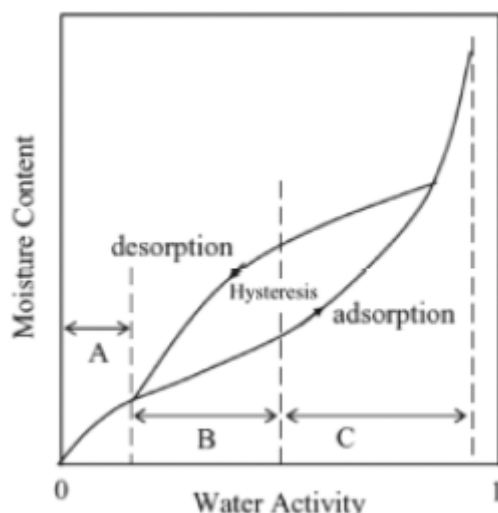
$$\text{όπου, } \alpha' = \frac{1}{w_m K C}, \quad b' = \frac{1}{w_m} \left(\frac{x_1}{K C_0} - \frac{2}{C_0} + 1 \right),$$

$$c' = \frac{1}{w_m} \left(\frac{K}{C_0} - \frac{2x_1}{C_0} - K \right), \quad d' = \frac{K x_1}{w_m C_0}$$

Η οποία βρήκε εφαρμογή στην μέτρηση της υγρασίας ψημένου ψωμιού με άλευρα βρώμης, κατά την οποία ακολουθήθηκε η στατική βαρυμετρική μέθοδος στους 25 °C, όμοια με αυτήν της COST -90 (Mandala et al., 2009).

4.5.2 Περιοχές ισόθερμης

Οι ισόθερμες των τροφίμων είναι συνήθως σιγμοειδείς καμπύλες, όπως φαίνονται στο σχήμα 4.5.1. και έχουν αποδοθεί προσεγγιστικά από διάφορες μαθηματικές εξισώσεις. Στο σχήμα 4.5.1. φαίνεται και η υστέρηση που παρουσιάζουν τα περισσότερα τρόφιμα μεταξύ ρόφησης και εκρόφησης. Στο φαινόμενο της υστέρησης, τα τρόφιμα, κατά τη ρόφηση υγρασίας, εμφανίζουν μικρότερη περιεκτικότητα νερού από ότι κατά την εκρόφηση, σε ισορροπία με περιβάλλον της ίδιας σχετικής υγρασίας. Το φαινόμενο της υστέρησης ερμηνεύεται από τη δημιουργία μη αντιστρεπτών μεταβολών κατά τη ρόφηση υγρασίας από το τρόφιμο (Andrade et al., 2011).



Σχήμα 4.5.2.1: Ισόθερμη ρόφησης για ένα τυπικό τρόφιμο, όπου παρουσιάζεται η υστέρηση μεταξύ προσρόφησης και εκρόφησης (Πηγή: Andrade P. et al., 2011, p.326).

Οι επιφανειακές δυνάμεις προκαλούν μετανάστευση των μορίων του περιβάλλοντος αερίου ή ατμού στο τρόφιμο και προσροφώνται στην επιφάνειά του (Atkins, 1998). Η διαδικασία της προσρόφησης συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί ισορροπία. Η διαδικασία απόσπασης των προσροφημένων μορίων από την επιφάνεια λέγεται εκρόφηση. Έτσι, το στάδιο της ισορροπίας είναι η εξισορρόπηση μεταξύ της διαδικασίας προσρόφησης και εκρόφησης (Lewicki, 2009). Η προσρόφηση είναι μια αυθόρμητη διαδικασία που συνοδεύεται από τη μείωση της ελεύθερης ενέργειας του συστήματος. Η προσρόφηση επίσης μειώνει τους βαθμούς ελευθερίας της προσροφούμενης ουσίας και έτσι η εντροπία του συστήματος μειώνεται. Άρα η προσρόφηση είναι μια εξώθερμη διεργασία. Το ποσοστό του αερίου ή ατμού που προσροφάται από το στερεό εξαρτάται από την πίεση, τη θερμοκρασία και τη φύση των ουσιών. Για ένα δεδομένο αέριο και στερεό η προσρόφηση που παρατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία δίδει μια σχέση μεταξύ του ποσοστού που προσροφάται και της μερικής πίεσης της προσροφούμενης ουσίας. Η σχέση αυτή ονομάζεται ισόθερμη προσρόφησης. Στα τρόφιμα είναι σημαντική η προσρόφηση μορίων νερού (Rahman & Labuza, 1999).

Οι ισόθερμες προσρόφησης μπορούν να χωριστούν σε τρεις περιοχές. Είναι η περιοχή A, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.2.1, όπου το νερό που έχει προσροφηθεί στο τρόφιμο είναι πιο στενά συνδεδεμένο, από ότι θα ήταν μεταξύ των μορίων του καθαρού νερού. Η ενθαλπία εξάτμισης του νερού του τροφίμου είναι μεγαλύτερη από την ενθαλπία του καθαρού νερού (Yanniotis S. and Blahovec J., 2009). Το νερό στην περιοχή A, είναι συνδεδεμένο με υδρόφιλα και πολικά μόρια του τροφίμου, όπως οι ομάδες υδροξυλίων των πολυσακχαριτών, οι καρβοξυλομάδες και οι αμινομάδες των πρωτεϊνών, δημιουργώντας δεσμούς υδρογόνου. Το ισχυρά δεσμευμένο νερό δεν παγώνει και δεν είναι διαθέσιμο σε χημικές αντιδράσεις. Το μονομοριακό στρώμα νερού ανέρχεται σε 0-0.2 g/g στερεών και οι τιμές ενεργότητας που

αντιστοιχούν σε αυτό δεν υπερβαίνουν συνήθως το 0.25. Η εκτίμηση της ποσότητας του ισχυρά δεσμευμένου νερού που καλείται και «τιμή μονομοριακού στρώματος» μπορεί να γίνει μέσω της εξίσωσης BET (Andrade et al., 2011).

Στην περιοχή B, τα μόρια του νερού είναι λιγότερο ισχυρά συνδεδεμένα με τα μόρια του τροφίμου και σχηματίζουν πολυστρωματικές στοιβάδες, σε τιμές ενεργότητας νερού έως 0,75. Οι πολυστρωματικές στοιβάδες είναι κυρίως συνδεδεμένες με το μονομοριακό στρώμα και τα νερά είναι διαθέσιμος διαλύτης μόνο για τις χαμηλού μοριακού βάρους διαλυτές ουσίες ή βιοχημικές αντιδράσεις (Yanniotis S. and Blahovec J., 2009). Επιπλέον του δεσμευμένου νερού υπάρχει ένα μέρος νερού παγιδευμένο σε τριχοειδείς πόρους, το οποίο παρουσιάζει μειωμένη τάση ατμών. Η ενεργότητα νερού μειώνεται όσο μειώνεται η ακτίνα των πόρων ενός υλικού. Η ακριβής μείωση της ενεργότητας νερού λόγω της ύπαρξης τριχοειδών πόρων στα τρόφιμα δεν είναι εύκολο να υπολογισθεί, αλλά μπορεί να εκτιμηθεί με εξισώσεις. Η ενθαλπία εξάτμισης του νερού του τροφίμου είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την ενθαλπία του καθαρού νερού. Το προσροφημένο νερό βρίσκεται σε μια συνεχή μετάβαση από την κατάσταση του δεσμευμένου στην κατάσταση του ελεύθερου και ξανά στην κατάσταση του δεσμευμένου (Andrade et al., 2011).

Στην περιοχή C οι ιδιότητες του νερού του τροφίμου είναι παρόμοιες με αυτές του ελεύθερου νερού, επειδή το νερό βρίσκεται σε περίσσεια σε μακροπόρους. Το νερό είναι συνδεδεμένο στους τριχοειδείς πόρους και στις ρωγμές του τροφίμου και μάλιστα με χαλαρούς δεσμούς. Για τρόφιμα με μεγάλη ενεργότητα νερού ($\alpha > 0,9$), η ενεργότητα νερού μπορεί να υπολογιστεί μέσω των εξισώσεων (4.1.2., 4.1.3., 4.1.4.) λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο τα διαλυτά συστατικά. Το ελεύθερο νερό εμφανίζει μειωμένη τάση ατμών, λόγω των διαφόρων συστατικών που είναι διαλυμένα σε αυτό και υποβοηθάει την κινητικότητα των διαλυτών μορίων (Yanniotis . and Blahovec ., 2009). Η υστέρηση μεταξύ του ποσοστού του αερίου ή ατμού που προσροφάται και εκροφάται από το στερεό εξαρτάται όχι μόνο από τη φύση του τροφίμου (Rahman & Labuza, 1999), αλλά από την κατάσταση των συστατικών του, από τη δυνατότητά τους μέσω αναδιάταξης να δίνουν τη δυνατότητα σε πολικά μόρια να τα προσεγγίσουν (Andrade et al., 2011).

Για τον υπολογισμό της τιμής του μονομοριακού στρώματος κατασκευάζεται η ισόθερμη BET με άξονες την ενεργότητα νερού (α) και το λόγο a/w ($1-\alpha$). Η μονοστρωματική τιμή (W_{bm}) και η σταθερά C υπολογίζεται από την τιμή της τομής του άξονα (Y) ($1/W_{bm} C$) και την κλίση ($\frac{C-1}{w_{bm} C}$) της ευθείας. Η εξίσωση BET συνήθως θεωρείται ότι εκφράζει με καλή προσέγγιση τα δεδομένα της ισόθερμου ρόφησης μέχρι τιμή ενεργότητας 0,45. Επίσης η τιμή μονομοριακού στρώματος που υπολογίζεται με την εξίσωση BET αποδίδει ικανοποιητικά το νερό το δεσμευμένο σε πολικές θέσεις των ξηρών φρούτων.

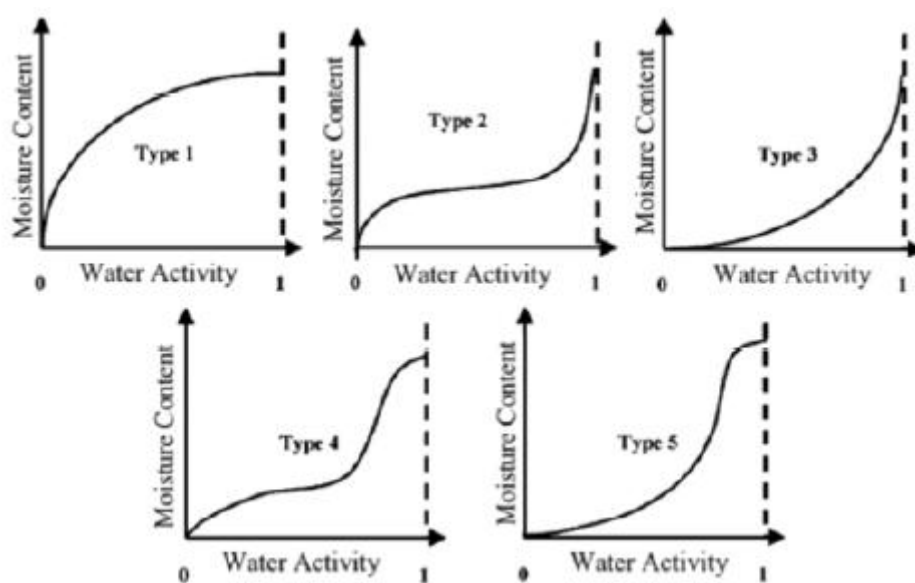
Πιο ικανοποιητική προσέγγιση της ισοθέρμου ρόφησης για τα περισσότερα τρόφιμα και για μεγαλύτερο εύρος τιμών ενεργότητας νερού που παρουσιάζει και μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον (0,10- 0,90 ή 0,95), δίνεται από την εξίσωση GAB (Iglesias . and Chirife ., 1995). Τιμές του μονομοριακού στρώματος κατά BET και GAB και των αντίστοιχων σταθερών των δύο εξισώσεων υπάρχουν στη βιβλιογραφία για διάφορα τρόφιμα και συστατικά τροφίμων. Για την BET σε αλεύρι καλαμποκιού, αποξηραμένες πατάτες και τομάτες, σε μήλα και βατόμουρα και για την GAB σε αλεύρι καλαμποκιού, σε ξεφλουδισμένα φρούτα του πάθους, ξεφλουδισμένο ανανά, αποξηραμένο πολτό τομάτας, καρύδια, πολτό μάνγκο και μπανάνας. Το μοντέλο GAB είναι κατάλληλο για την περιγραφή των ισόθερμων στο 50% των φρούτων, του κρέατος και των λαχανικών και συστήνεται από τη μέθοδο COST -90. Σε τιμές ενεργότητας νερού πάνω από 0,93 ($\alpha > 0,93$), το μοντέλο GAB υπολογίζει μικρότερη από την περιεχόμενη υγρασία και δεν λειτουργεί σωστά και η μέθοδος των κορεσμένων αλάτων (Yanniotis S. and Blahovec J., 2009).

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες μαθηματικές εξισώσεις για την πλήρη περιγραφή των φαινομένων ροφήσεως. Κάποιες από αυτές είναι του «Oswin», του «Smith», του «Halsey», του «Iglesias-Chirife» και του «Peleg» (Andrade et al., 2011). Επιπλέον οι εξισώσεις του «Smith» (2 παραμέτρων), των «Hailwood and Horrobin» (3 παραμέτρων), των «D' Arcy and Watt» (5-παραμέτρων) και των «Blahovec and Yanniotis» (4-παραμέτρων), χρησιμοποίησαν ποσοτικά κριτήρια προκειμένου να αποδώσουν τις εσωτερικές κινήσεις των μορίων κατά τη ρόφηση (Blahovec, ., Yanniotis,., 2009).

4.5.3 Ταξινόμηση ισόθερμων

Οι τύποι των ισόθερμων είναι πέντε όπως τις χωρίζει ο «Brunauer». Ο τύπος (1) αποτυπώνει τη συνάρτηση «Langmuir» και την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας στο μονομοριακό στρώμα της εσωτερικής επιφάνειας του υλικού. Ο τύπος (2) είναι σιγμοειδής καμπύλη, η οποία αναφέρεται στην ύπαρξη πολυστρωματικής επιφάνειας στην εσωτερική επιφάνεια ενός υλικού. Η σιγμοειδής καμπύλη περιγράφεται από τις συναρτήσεις BET και GAB ρόφηση. Ο τύπος (3) που περιγράφεται από τη συνάρτηση «Florry-Huggins» και την BET, αναφέρεται σε διαλύτη ή σε πλαστικό υλικό όπως η γλυκερόλη όπως αυτή συμπεριφέρεται όταν βρίσκεται σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία δημιουργίας κρυστάλλων. Ο τέταρτος τύπος περιγράφει την προσρόφηση ενός υδρόφιλου στερεού που έχει δυνατότητα διόγκωσης. Ο πέμπτος τύπος περιγράφει την εξίσωση BET και αναφέρεται σε μια πολυστρωματική ισόθερμη προσρόφησης. Παράδειγμα αποτελεί η προσρόφηση του υδρατμού από το κάρβουνο και σχετίζεται με τις ισόθερμες των τύπων δύο και τρία. Στα τρόφιμα παρατηρούνται συχνότερα οι ισόθερμες

των τύπων δύο και τέσσερα (Andrade et al., 2011; Blahovec, ., Yanniotis, ., 2009).



Σχήμα 4.5.3.1: Τύποι των ισόθερμων καμπύλων κατά «Brunauer» (Πηγή: Andrade P. et al., 2011, p.326).

Τα βασικά χαρακτηριστικά διαχωρισμού των ισόθερμων καμπυλών, με βάση τα οποία διαχωρίζονται σε τύπους είναι η παράμετρος D10, X₄ και Rf_i. Η παράμετρος D10 αναφέρεται στην πρώτη παράγωγο του α_w/w όταν α_w = 0. Όταν η παράμετρος D10 είναι θετική, τότε η αναλογία α_w/w είναι αυξανόμενη. Η παράμετρος Rf_i αναφέρεται στην αναλογία της πρώτης παραγώγου α_w/w - α_w στην τελική τιμή της παράστασης όταν α_w = 1 προς την πρώτη παράγωγο στην αρχική τιμή της παράστασης όταν α_w = 0. Η παράμετρος X₄ ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση (4.5.3.1) (Andrade et al., 2011; Blahovec, J., Yanniotis, S., 2009):

$$\frac{\alpha_w}{w} = X_1 + (X_2 - X_1 X_4) \alpha_w - (X_3 + X_2 X_4 - X_1 X_4^2) \frac{\alpha_w^2}{1 + X_4 \alpha_w} \quad (4.5.3.1)$$

Πίνακας 4.5.3.1: Πίνακας βασικών χαρακτηριστικών των ισόθερμων σε κάθε τύπο (Πηγή: Andrade et al., 2011, p.328; Blahovec, Yanniotis, 2009).

Παράμετρος	D10	Rfi	α_{wm}	X4
Τύπος (I) – «Langmuir»	Θετικό	Θετικό	-	Θετικό
Τύπος (II) – «GAB»				
IIα	Θετικό	Αρνητικό	0 - 1	-0,1 < X4 < 0,1
IIβ	Θετικό	Αρνητικό	0 - 1	< -0,1
IIγ	Θετικό	Αρνητικό	0 - 1	> 0,1
Τύπου III	Αρνητικό	Θετικό	-	Αρνητικό

Η παράμετρος Rfi , η οποία αποτελεί κριτήριο ταξινόμησης των σιγμοειδών ισόθερμων που περιγράφονται με το μοντέλο της GAB, αλλά και των ισόθερμων τύπου (I) και (III), δίνεται από τον ακόλουθο τύπο (Blahovec, , Yanniotis, ., 2009; Yanniotis, &., Blahovec, J., 2009):

$$Rfi = \frac{1 - X_3 \frac{2 - X_4}{X_2'}}{(1 + X_4)^2} \quad (4.5.3.2)$$

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 Υλικά και μέθοδοι

5.1.1 Προσδιορισμός Τέφρας

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της τέφρας ήταν:

- Χωνευτήρια (κάψες) από υλικό που δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες του πειράματος.
- Αναλυτικός ζυγός KERN ABS στο εργαστήριο της μηχανικής τροφίμων, με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.
- Ηλεκτρικός φούρνος αποτέφρωσης VULCAN 3-550 NEY με δυνατότητα ρύθμισης στους $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ στο εργαστήριο μηχανικής τροφίμων.
- Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (silica gel).



Σχήμα 5.1.1.1: Χωνευτήρια πορσελάνης (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.1.2: Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.1.3: Αναλυτικός ζυγός KERN ABS (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.1.4: Αποτεφρωτήρας VULCAN 3-550 NEY (προσωπικό αρχείο).

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για να προσδιοριστεί η ποσότητα τέφρας στα δείγματα αλεύρου είναι η ακόλουθη:

1. Ανοίγουμε το φούρνο και τον ρυθμίζουμε στους 550°C.
2. Πλένουμε τις κάψες και τις στεγνώνουμε πολύ καλά στους 110°C για διάστημα 15 λεπτών (min) και τις τοποθετούμε στο φούρνο στους 550°C για διάστημα μίας ώρας (1h).
3. Βγάζουμε τις κάψες με τη λαβίδα από το φούρνο και μειώνουμε τη θερμοκρασία του φούρνου στους 230°C. Μεταφέρουμε τις κάψες στον ξηραντήρα για 30 λεπτά (min), ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.
4. Ζυγίζουμε τις κάψες με τη λαβίδα και σημειώνουμε το βάρος τους W_1 και τις μεταφέρουμε ξανά στον ξηραντήρα. Δεν αριθμούμε τις κάψες, αλλά σημειώνουμε τη σειρά με την οποία τις ζυγίζουμε. Φροντίζουμε ώστε το καπάκι του ξηραντήρα να είναι όσο γίνεται κλειστό, ώστε να αποφευχθεί η είσοδος υγρασίας.

5. Ζυγίζουμε περίπου 3g δείγματος W_0 σε κάθε κάψα και τις μεταφέρουμε πάλι στον ξηραντήρα. Σημειώνουμε το βάρος του δείγματος και την κάψα στην οποία το έχουμε τοποθετήσει.
6. Μεταφέρουμε τις κάψες με τη λαβίδα στο φούρνο στους 230°C και τις αφήνουμε για μία ώρα (1h) (προκαύση).
7. Ανεβάζουμε τη θερμοκρασία του φούρνου στους 550°C και ακολουθεί η αποτέφρωση για πέντε ώρες (5h) μέχρι τα δείγματα να αποκτήσουν ένα ανοιχτό γκρι χρώμα.
8. Ανοίγουμε το καπάκι του φούρνου και με τη λαβίδα μεταφέρουμε τις κάψες στον ξηραντήρα για 30 λεπτά (min), ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.
9. Ζυγίζουμε τις κάψες με την τέφρα W_2 και υπολογίζουμε την τέφρα με βάση τον τύπο: $\text{Τέφρα (\%)} = [(W_2 - W_1) / W_0] * 100$
Όπου W_0 : Βάρος του δείγματος (g),
 W_1 : Βάρος του χωνευτηρίου (g) και
 W_2 : Βάρος του χωνευτηρίου + τέφρας (g).

Ο καθαρισμός της κάψας περιελάμβανε: καλό πλύσιμο στις κάψες και τοποθέτησή τους στον απαγωγό, προσθήκη 1ml HCl 50% και αναμονή μέχρι να σταματήσει να καπνίζει. Ο προσδιορισμός της τέφρας έγινε βάσει του Ash-Basic Method 08-01, AACC Approved Methods, 2000 και ο καθαρισμός της κάψας βάσει των όσων ορίζει το ISO 2171:2007 που ακολουθείται από την μονάδα.

5.1.2 Προσδιορισμός υγρασίας

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της υγρασίας ήταν:

- Αναλυτικός ζυγός KERN ABS στο εργαστήριο της μηχανικής τροφίμων, με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.
- Φιαλίδια ζύγισης με εκσμηρισμένο πώμα.
- Πυριαντήριο MEMMERT MODEL 100-800 για το Γεωπονικό Π.Α.
- Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (silica gel).



Σχήμα 5.1.2.1: Ξηραντήριο όπου τοποθετούνται τα φιαλίδια μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος (προσωπικό αρχείο).

Τα στάδια της μεθόδου, σύμφωνα τα πρότυπα ISO 712:2009 και AOAAC 925.10 που ακολουθήθηκαν για τη μέτρηση της υγρασίας σε όλους τους τύπους αλεύρου είναι τα ακόλουθα:

1. Θέρμανση φιαλιδίων -ανθεκτικών στη θέρμανση στους $130 (\pm 3) ^\circ \text{C}$ για μία ώρα (1h) (Φούρνος Memmert).
2. Κλείσιμο φιαλιδίων μέσα στο φούρνο και μεταφορά τους στον ξηραντήρα.
3. Ζύγιση των φιαλιδίων και των καπακιών όταν φτάσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (περίπου 15 λεπτά)
4. Προσθήκη δείγματος- 2g περίπου – που ακολουθείται από καλή ανάμιξη.
5. Θέρμανση φιαλιδίων (ανοιχτά) και καπακιών στους $130 (\pm 3) ^\circ \text{C}$ για μία ώρα (1h).
6. Κλείσιμο φιαλιδίων στο φούρνο και μεταφορά τους στον ξηραντήρα.
7. Ζύγισή τους όταν φθάσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το ποσοστό Υγρασίας (%) υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Υγρασία \%} = \frac{W(\text{Αρχικό}) - W(\text{Τελικό})}{W(\text{Αρχικό})} \times 100$$

5.1.3 Προσδιορισμός υγρής -ξηρής γλουτένης

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της υγρής γλουτένης στα δείγματα αλεύρων που εξετάστηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Ποτήρια ζέσεως.
- Πορσελάνινη κάψα με γουδί.

- Κόσκινο (0,129 mm) στο εργαστήριο της μηχανικής τροφίμων.
- Γυάλινη βάση.
- Πυριαντήριο MEMMERT MODEL 100-800 για το Γεωπονικό Π.Α.
- Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (silica gel).



Σχήμα 5.1.3.1: Κόσκινο 0,129 mm για να συγκρατεί τη γλουτένη κατά την έκπλυση του ζυμαριού (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.3.2: Πυριαντήριο MEMMERT (προσωπικό αρχείο).

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε σύμφωνα με την πρότυπη AACC 38-10, AACC Approved Methods, 2000 περιγράφεται ακολούθως ανά στάδιο:

1. Αναμειγνύουμε 25 g αλεύρου με 10 ml απιονισμένου νερού μέσα σε πορσελάνινη κάψα και κάνουμε μάλαξη μέχρι να δημιουργηθεί η ζύμη.
2. Τοποθετούμε το ζυμάρι σε ποτήρι ζέσεως με νερό βρύσης για 20 λεπτά (min) για να ενυδατωθεί προκειμένου να γίνει η έκπλυση στη συνέχεια.
3. Βγάζουμε το ζυμάρι από το νερό και το τοποθετούμε κάτω από τη βρύση με ένα κόσκινο ακριβώς κάτω από τη βρύση. Η διάμετρος του ανοίγματος των βροχίδων πρέπει να είναι μικρότερη από 149 μm και ο αριθμός των ανοιγμάτων 100 ή και μεγαλύτερος, ώστε να μην χαθεί

μέρος της γλουτένης κατά την έκπλυση των ζυμαριών. Με μάλαξη προσπαθούμε ώστε κάτω από το τρεχούμενο νερό να συγκρατήσουμε το δίκτυο γλουτένης και να απομακρυνθεί το άμυλο και οι υπόλοιπες πρωτεΐνες. Η διαδικασία κρατάει περίπου 40 λεπτά (min).

4. Για να καταλάβουμε πότε το δίκτυο της γλουτένης έχει παραμείνει καθαρό από άμυλο, στάζουμε 2 σταγόνες από το ζυμάρι μέσα σε ποτήρι ζέσεως με νερό βρύσης. Εάν το νερό στο ποτήρι παραμείνει διαυγές, τότε η γλουτένη θεωρείται καθαρή και δεν χρειάζεται να συνεχίσουμε την έκπλυση.
5. Η αποκτηθείσα γλουτένη τοποθετείται για μία ώρα (1h) μέσα σε ποτήρι ζέσεως με νερό βρύσης και στραγγίζεται με τα χέρια. Το τελικό υλικό που ζυγίζεται τελικά αφού τοποθετηθεί πάνω σε μια γυάλινη βάση, αποτελεί την υγρή γλουτένη με βάρος (W_w).
6. Για να υπολογίσουμε την ξηρή γλουτένη, μεταφέρουμε την υγρή γλουτένη με βάρος (W_w) στο πυριαντήριο στους 100° C για εικοσιτέσσερις ώρες (24h) και μετά την ξήρανση τη μεταφέρουμε στον ξηραντήρα.
7. Ζυγίζεται η ξηρή γλουτένη με βάρος (W_d), όταν φθάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με την παρατήρηση ότι το υπόλειμμα της ξηρής γλουτένης περιέχει λιπίδια, στάχτη και κάποια ποσότητα αμύλου.

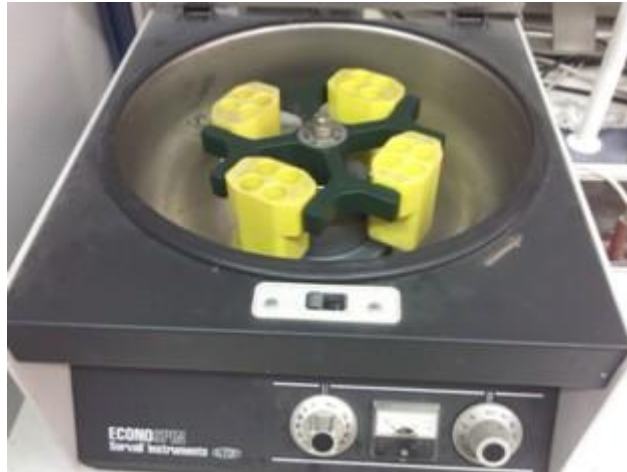
Το ποσοστό Υγρασίας της υγρής γλουτένης (%) υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Υγρασία Γλουτένης \%} = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100$$

5.1.4 Προσδιορισμός συγκράτησης νερού (WHC)

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκράτησης νερού από τα δείγματα αλεύρων ήταν:

- Αναλυτικός ζυγός KERN ABS στο εργαστήριο της μηχανικής τροφίμων, με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.
- Φυγόκεντρος ECONOSPIN.
- Δοκιμαστικοί σωλήνες κατάλληλου διαμετρήματος για να ταιριάζουν στην Φυγόκεντρο.
- Vortex VELP SCIENTIFICA.



Σχήμα 5.1.4.1: Φυγόκεντρος ECONOSPIN (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.4.2: Vortex VELP SCIENTIFICA (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.4.3: Δοκιμαστικοί σωλήνες με το υπόλειμμα (προσωπικό αρχείο).

Τα στάδια της μεθόδου, σύμφωνα τα πρότυπα ISO 712:2009 του εργαστηρίου μηχανικής τροφίμων, που ακολουθήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκράτησης υγρασίας σε όλα τα δείγματα αλεύρων είναι τα ακόλουθα:

1. Ζυγίζουμε ακριβώς- περίπου 0,5 g δείγματος μέσα στον δοκιμαστικό σωλήνα και καταγράφουμε τα βάρη :
 W_0 : Βάρος του δείγματος (g),
 W_1 : Βάρος του δείγματος + του δοκιμαστικού σωλήνα (g).
2. Προσθέτουμε σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα 5 ml απιονισμένου νερού και αναδεύουμε τους σωλήνες στο vortex στα 40Hz για 1 λεπτό (min).
3. Αφήνουμε τους σωλήνες σε ηρεμία για 30 λεπτά (min) και ακολουθεί φυγοκέντρηση των σωλήνων στις 3500 rpm (90 %) για 30 λεπτά (min).
4. Αποχύνουμε με προσοχή το υπερκείμενο υγρό από τους δοκιμαστικούς σωλήνες, ζυγίζουμε τους δοκιμαστικούς σωλήνες με το υπόλειμμα (W_2) και προσδιορίζουμε με βάση τον τύπο την υγρασία που συγκρατείται σε κάθε τύπο αλεύρου:

$$WHC (\%) = [(W_2 - W_1) / W_0] * 100$$

Όπου: W_0 : Βάρος του δείγματος (g),

W_1 : Βάρος του δείγματος + δοκιμαστικού σωλήνα (g) (αρχικά),

W_2 : Βάρος δείγματος + δοκιμαστικού σωλήνα (μετά την απομάκρυνση νερού).

5.1.5 Προσδιορισμός του ολικού αζώτου / πρωτεΐνης με τη μέθοδο Kjeldahl

Η μέθοδος Kjeldahl είναι η συνηθέστερη μέθοδος προσδιορισμού της συνολικής πρωτεΐνης σε ένα τρόφιμο. Στηρίζεται στη ολική μετατροπή των αζωτούχων συστατικών των τροφίμων σε αμμωνιακά άλατα. Κατά τη μέτρηση συνυπολογίζεται και το άζωτο άλλων ενώσεων, όπως των νουκλεϊνικών οξέων, αλκαλοειδών και χρωστικών.

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης ήταν:

- Αναλυτικός ζυγός KERN ABS , με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.
- Συσκευή υγρής καύσης (εφοδιασμένη με διάταξη απαγωγής αερίων).
- Συσκευή απόσταξης (Kjeltec 8100, FOSS, DISTILLATION UNIT).

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης ήταν:

- Διάλυμα καυστικού νατρίου 40% (40% NaOH)
- Διάλυμα βορικού οξέος 4% (4% H_3BO_3) με δείκτες πράσινο της βρωμοκρεσόλης και ερυθρό του μεθυλίου.
- Διάλυμα υδροχλωρικού οξέος HCl 0.1 N



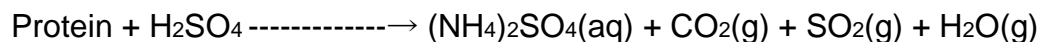
Σχήμα 5.1.5.1: Συσσκευή υγρής καύσης (προσωπικό αρχείο).



Σχήμα 5.1.5.2: Συσσκευή απόσταξης Kjelttec 8100, FOSS (προσωπικό αρχείο).

Η μέθοδος Kjeldahl περιλαμβάνει τρία στάδια, αυτό της καύσης, της απόσταξης και της τιτλοδότησης βάση της μεθόδου AACC Method 46-10, AACC Approved Methods, 2000. Στο στάδιο της καύσης ζυγίζεται με μεγάλη ακρίβεια η ποσότητα του ξηρού δείγματος που τοποθετείται στον πυθμένα ενός σωλήνα καύσης και θερμαίνεται για αρκετό χρονικό διάστημα μέσα σε μια συσκευή καύσης με ένα μίγμα πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4) που δρα ως οξειδωτικός παράγοντας με θειικό κάλιο (K_2SO_4) για την ανύψωση του σημείου ζέσεως του μίγματος και παρουσία ορισμένων καταλυτών για την επιτάχυνση της οξείδωσης του δείγματος, όπως υπεροξειδίου του υδρογόνου, υπεροξειδίου του τιτανίου και θειικού χαλκού ($CUSO_4$). Σκοπός είναι η καύση των οργανικών ουσιών του δείγματος και η μετατροπή του οργανικού αζώτου σε θειικό αμμώνιο και του άνθρακα και του υδρογόνου σε CO_2 και H_2O . Η

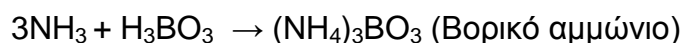
θέρμανση του δείγματος γίνεται σε ειδικούς σωλήνες της μονάδας της συσκευής Kjeldahl. Η καύση διήρκεσε έως ότου το χρώμα του δείγματος κατέστη διαυγές. Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η παρακάτω:



Στη συνέχεια στους σωλήνες καύσης, με το κρύο προϊόν του θειικού αμμωνίου, προσθέτουμε περίσσεια καυστικού νατρίου προς απελευθέρωση της αμμωνίας. Ακολουθεί απόσταξη με ατμό αμμωνίας σε αυτόματη μονάδα απόσταξης της συσκευής Kjeldahl.

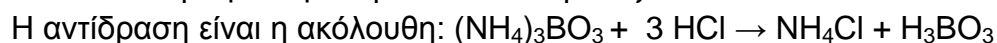


Η αμμωνία ως πτητική μεταφέρεται με το ρεύμα υδρατμών στον ψυκτήρα, όπου υγροποιείται και στη συνέχεια πέφτει σταγόνα – σταγόνα με την μορφή υδατικού διαλύματος μέσα σε κωνική φιάλη με περίσσεια διαλύματος βορικού οξέος όπου δεσμεύεται και συλλέγεται ως βορικό αμμώνιο.



Η αμμωνία δεν μπορεί να συλληχθεί σε νερό χωρίς απώλειες λόγω της μεγάλης πτητικότητάς της. Για να αποφευχθούν απώλειες της αμμωνίας από απόσταξη συλλέγεται σε διάλυμα βορικού οξέος.

Ακολουθεί η τιτλοδότηση του βορικού αμμωνίου με πρότυπο διάλυμα υδροχλωρικού οξέος (HCl) και δείκτη μίγμα ερυθρού του μεθυλίου και πράσινου της βρωμοκρεσόλης. Ο όγκος του προτύπου διαλύματος HCl που καταναλώθηκε μετατράπηκε σε ποσότητα αζώτου.



Η ανίχνευση του τελικού σημείου της τιτλοδότησης γίνεται με συσκευή pH μετρου ή με αλλαγή χρώματος δείκτη ειδικών χρωστικών. Παράλληλα γίνεται λευκός προσδιορισμός.

Στο στάδιο της καύσης ζυγίστηκαν περίπου 0,5-1g ξηρού δείγματος και τοποθετήθηκαν στο σωλήνα καύσης. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι μια ταμπλέτα με ενσωματωμένα άλας K_2SO_4 και καταλύτες (Se, Hg, Cu). Η καύση διήρκεσε έως ότου το δείγμα να διαυγάσει και να αποκτήσει ασθενώς κυανό –πράσινο χρώμα (1 ώρα στους 430°C).

Στο στάδιο της απόσταξης ο σωλήνας καύσης τοποθετήθηκε στην συσκευή απόσταξης. Σε κωνική φιάλη τοποθετήθηκαν 50ml διαλύματος βορικού οξέος με δείκτες πράσινο της βρωμοκρεζόλης (bromocresol green) και κόκκινο του μεθυλίου (methyl red). Οι δείκτες βρίσκονται σε μορφή ταμπλέτας. Το διάλυμα δείκτη προκύπτει από ανάμιξη ενός μέρους διαλύματος ερυθρού του μεθυλίου με πέντε μέρη διαλύματος πράσινου της βρωμοκρεζόλης. Το διάλυμα ερυθρού του μεθυλίου ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$),

παρασκευάζεται με διάλυση 0,1 g ερυθρού του μεθυλίου σε 50 ml αιθανόλης 95% (v/v). Το πράσινο της βρωμοκρεζόλης ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$) παρασκευάζεται με διάλυση 0,5 g πράσινου της βρωμοκρεζόλης σε 250 ml αιθανόλης 95% (v/v). Το διάλυμα βορικού οξέος παρασκευάζεται διαλύοντας 40 g βορικού οξέος σε 1 lt ζεστού νερού. Αφού το διάλυμα του βορικού οξέος κρυώσει, προστίθενται 3 ml δείκτη. Η φιάλη τοποθετήθηκε στην έξοδο της αποστακτικής συσκευής. Η συσκευή τέθηκε σε λειτουργία. Αρχικά προστέθηκαν 75ml H_2O και στη συνέχεια 50ml υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) 40%. Η απόσταξη θεωρήθηκε ικανοποιητική αφού συλλέχθηκαν τουλάχιστον 150-200ml αποστάγματος.

Στο στάδιο του λευκού προσδιορισμού το άζωτο που τυχόν υπήρχε στα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον προσδιορισμό, προστέθηκε στο άζωτο των αγνώστων δειγμάτων. Έτσι απαιτήθηκε λευκός προσδιορισμός, δηλαδή προσδιορισμός μάρτυρα κατά τον οποίο εκτελείται η διαδικασία πλήρως χωρίς δείγμα (Καμινάρη ΣΤ., 2010).

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να υπολογιστεί το τελικό ποσοστό περιεχόμενης πρωτεΐνης είναι ο παρακάτω :

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{(ml_{sample} - ml_{blank}) N * 1,4007}{mg_{sample}}$$

Όπου, N η κανονικότητα του δ/τος HCl 0,1N.

ml_{sample} είναι η κατανάλωση σε ml 0,1N HCl για την τιτλοδότηση του δείγματος του αλεύρου,

ml_{blank} είναι η κατανάλωση σε ml 0,1N HCl για την τιτλοδότηση του δείγματος του λευκού,

mg_{sample} είναι το βάρος σε g του δείγματος αλεύρου.

Το ποσό του αζώτου που υπολογίστηκε πολλαπλασιάστηκε με το 6,25 (εμπειρικός συντελεστής) και έδωσε την ποσότητα της πρωτεΐνης του δείγματος. Ο συντελεστής αυτός προκύπτει από το γεγονός ότι οι πρωτεΐνες περιέχουν 16% άζωτο ($100/16=6,25$). Ο συντελεστής αυτός δεν είναι σταθερός για όλα τα τρόφιμα.

5.1.6 Προσδιορισμός ισόθερμων καμπυλών

Τα **σκεύη και όργανα** που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Αναλυτικός ζυγός KERN ABS στο εργαστήριο της μηχανικής τροφίμων, με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.
- Φιαλίδια ζύγισης με εκσηρισμένο πώμα.
- Πυριαντήριο MEMMERT MODEL 100-800 για το Γεωπονικό Π.Α.
- Ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (silica gel).

- Γυάλες οκτώ στον αριθμό που να κλείνουν ερμητικά.
- Υδατόλουτρο τύπου Elvem με σταθερή θερμοκρασία στους 25 °C.
- Κρυσταλλική θυμόλη για ενεργότητες $a_w > 0,7$

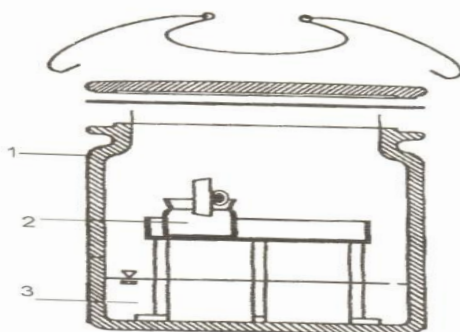
Για τον προσδιορισμό των ισόθερμων καμπύλων υγρασίας δημιουργήθηκε περιβάλλον σταθερής σχετικής υγρασίας μέσα σε γυάλες που κλείνουν ερμητικά (Σχ. 5.1.6.1). Στον πυθμένα της γυάλας τοποθετείται το κορεσμένο διάλυμα άλατος και πάνω από αυτό τοποθετείται το δείγμα μέσα σε φιαλίδια ζυγίσεως με εκμηρισμένο πώμα, όπως υποδεικνύει και η μέθοδος του COST-90. Χρησιμοποιήθηκαν οκτώ (8) γυάλες με διαφορετικό άλας στην καθεμία και σε κάθε γυάλα τοποθετήθηκαν τέσσερα φιαλίδια ζυγίσεως. Οι γυάλες κατά τη διάρκεια του πειράματος διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία 25 °C μέσα σε υδατόλουτρο (Σχ. 5.1.6.2). Για τον περιορισμό της ανάπτυξης μυκήτων και μούχλας προστέθηκε κρυσταλλική θυμόλη στη βάση στήριξης των φιαλιδίων για $a_w > 0,7$ (Menkon et al, 2004).

Κατά την εφαρμογή του πειράματος προσδιορίστηκαν πέντε ισόθερμες καμπύλες. Αρχικά προσδιορίστηκε η ισόθερμη καμπύλη προσρόφησης και εκρόφησης της μικροκρυσταλλικής κυτταρίνης (MCC), ώστε να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα του COST -90 και να εξακριβωθεί η ακρίβεια της μεθόδου. Στη συνέχεια, αφού διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά από την πρότυπη καμπύλη της MCC, προσδιορίστηκαν στις ίδιες οκτώ γυάλες οι καμπύλες υγρασίας για 4 τύπους αλεύρων. Τα άλευρα που εξετάστηκαν ως προς τις καμπύλες υγρασίας τους ήταν, το αλεύρι μπισκοτοποιίας και το αλεύρι μπισκοτοποιίας που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» σε πίεση 8 bar ατμόσφαιρες και απόδοσης 100%, αλλά και το αλεύρι ολικής σε σχέση με το αλεύρι ολικής το οποίο έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» σε πίεση 8 bar ατμόσφαιρες και απόδοσης 100%.

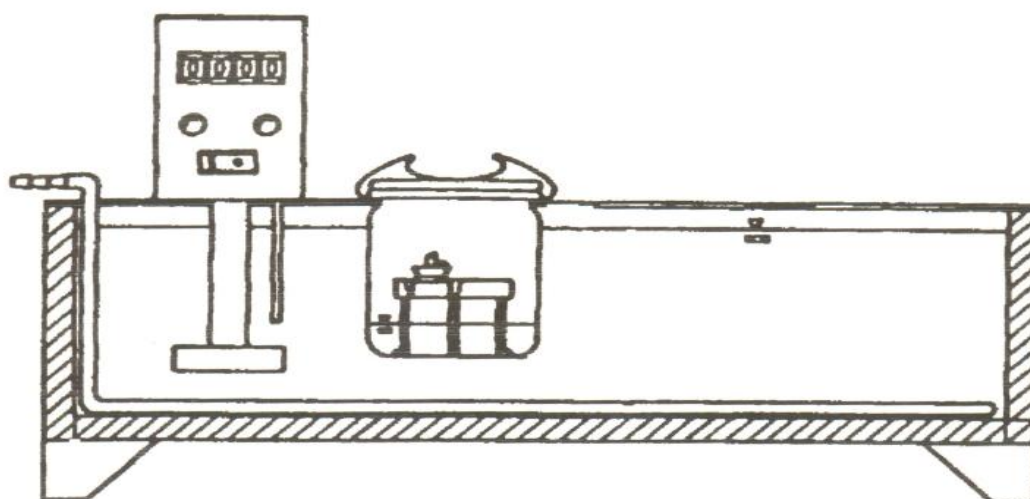
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κάθε φορά ήταν η ίδια, αλλά σε κάθε δείγμα μετρήθηκαν τα σημεία ισορροπίας των ισόθερμων καμπύλων, τόσο στην κατάσταση προσρόφησης, όσο και στην κατάσταση εκρόφησης του κάθε δείγματος. Τα άλευρα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν προηγουμένως ξηρανθεί μέσα σε φιαλίδια (ανοιχτά) με εκμηρισμένο πώμα στους 130 (± 3) °C για μία ώρα (1h) και στη συνέχεια είχαν παραμείνει για χρονικό διάστημα μίας ώρας μέχρι να ζυγιστούν, σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (silica gel) για να επανέλθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στην περίπτωση της εκρόφησης η ξήρανση του αλεύρου για τον προσδιορισμό της ξηρής βάσης έγινε μετά της αποκατάσταση της ισορροπίας στο κορεσμένο άλας. Η μέθοδος προσδιορισμού βασίστηκε στο πρότυπο AOAC 925.10 αλλά και σε εμπειρική προσέγγιση. Έγιναν διαδοχικές ζυγίσεις ανά ώρα και όταν η διαφορά μεταξύ των δύο τελευταίων ζυγίσεων έφτασε να είναι ($\pm 0,0003$ - 0,0006) στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο με μικρές διακυμάνσεις, τότε υπολογίστηκε το περιεχόμενο του κάθε φιαλιδίου ως η ξηρή βάση της ζύγισης. Για την πλήρη ξήρανση

ποσοτήτων 500- 600 mg δείγματος απαιτούνται 5 ώρες σε θερμοκρασία 130 (± 3) ° C. Η αρχική τους υγρασία ήταν 12% - 13%.

Για τον υπολογισμό της υγρασίας έπρεπε και τα φιαλίδια ζυγίσεως αρχικά πριν γεμιστούν να τοποθετηθούν για ξήρανση σε φούρνο θερμοκρασίας 105 °C για τρεις (3) ώρες και στη συνέχεια στο ξηραντήριο για μία ώρα (1h) μέχρι να κρυώσουν. Τα φιαλίδια ζυγίστηκαν με ζυγό ακριβείας ώστε να προσδιοριστεί το απόβάρό τους (B1). Σε κάθε φιαλίδιο ζυγίσεως τοποθετήθηκαν 500- 600 mg δείγματος που είχε ξηρανθεί στους 100°C για τρεις ώρες σε φούρνο Memmert. Τα φιαλίδια ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας για να προσδιοριστεί το μεικτό βάρος κάθε ενός φιαλιδίου (B2). Η διαφορά B2 – B1 αντιπροσωπεύει το ξηρό βάρος του δείγματος. Μόνο που στην περίπτωση της προσρόφησης η ξήρανση γίνεται πριν την πλήρωση των φιαλιδίων, ενώ στην περίπτωση της εκρόφησης γίνεται μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας και τις 14-16 ημέρες από την πλήρωση των φιαλιδίων.



Σχήμα 5.1.6.1: Γυάλες για τη δημιουργία περιβάλλοντος σταθερής σχετικής υγρασίας (όπου 1: γυάλινος περιέκτης, 2: φιαλίδια ζυγίσεως και 3: κορεσμένο διάλυμα άλατος).



Σχήμα 5.1.6.2: Υδατόλουτρο για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας.

Στη συνέχεια τα φιαλίδια με το δείγμα τοποθετούνται ανοικτά στις γυάλες με τα κορεσμένα διαλύματα αλάτων και αφού οι γυάλες σφραγίστηκαν, τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο (Σχ. 5.1.6.2) σε σταθερή θερμοκρασία 25

°C. Μετά από επτά (7) ημέρες για τη μικροκρυσταλλική κυτταρίνη (MCC) και επτά (7) ημέρες και στη συνέχεια 10 και 12 και τέλος 15 ημέρες για τις διάφορες κατηγορίες αλεύρων, ζυγίστηκε το νέο τους βάρος (B3). Η διαδικασία ζύγισης ακολουθείται ως εξής: Ανοίγονται οι γυάλινα των κορεσμένων αλάτων μία μία ξεχωριστά και αφού κλειστούν γρήγορα τα φιαλίδια ζύγισης, ζυγίζονται ένα προς ένα και τα τέσσερα σε ζυγό ακριβείας. Το νέο βάρος (B3) μεταβάλλεται όσο μεταβάλλεται και το αποτέλεσμα της κάθε νέας ζύγισης με το πέρασμα των ημερών από την έβδομη στη δέκατη, στη δωδέκατη και στη δέκατη πέμπτη μέρα. Το βάρος του φιαλιδίου θεωρούμε ότι σταθεροποιείται μετά τη δωδέκατη μέρα ζύγισης, διότι η διαφορά μεταξύ αυτής της ζύγισης και της επόμενης δεν διαφέρει περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Συνολικά τα φιαλίδια με τη μικροκρυσταλλική (MCC) παρέμειναν δεκατρείς (13) ημέρες και σταθεροποιήθηκαν οι τελικές ζυγίσεις του βάρους τους μεταξύ της ενδέκατης (11^{ης}) και της δέκατης τρίτης (13^{ης}) ζύγισης, καθώς η διαφορά μεταξύ τους κυμαινόταν μεταξύ 1-3 μονάδων στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο, ενώ κάποιες τιμές δεν μεταβλήθηκαν μεταξύ των δύο ζυγίσεων. Ανάλογα με το μετρούμενο τύπο αλεύρου η προσροφηθείσα ισόθερμη καμπύλη σταθεροποιούταν μεταξύ της 10^{ης} ημέρας ζύγισης και της 15^{ης} ημέρας και το ίδιο περίπου ισχύει και για την καμπύλη εκρόφησης. Από το μετρούμενο αυτό βάρος υπολογίστηκε η προσροφηθείσα υγρασία (B3- B2) σε κάθε φιαλίδιο. Η υγρασία εκπεφρασμένη σε g νερού/ 100 g ξηρής ουσίας είναι:

$$M = (B3 - B2) / (B2 - B1) * 100$$

Από το μέσο όρο των τριών φιαλιδίων στην περίπτωση της MCC και των τεσσάρων στην περίπτωση των αλεύρων που εξετάστηκαν σε κάθε μέτρηση για κάθε διαφορετικό άλας και από τις τιμές της σχετικής υγρασίας που αξιοποιήθηκαν από δεδομένα πινάκων, προσδιορίστηκαν οι ισόθερμες καμπύλες για τα άλευρα που είτε έχουν επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill», είτε όχι. Στη συνέχεια ακολούθησε μια συγκριτική κατανομή των ισόθερμων καμπύλων ανά τύπο αλεύρου με χρήση της τεχνολογίας «jet mill» και χωρίς αυτήν. Σκοπός της μελέτης ήταν να εντοπίσουμε διαφορές στις ισόθερμες καμπύλες λόγω της χρήσης της τεχνολογίας «jet mill». Για τις καμπύλες εκρόφησης ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία μόνο που το δείγμα τοποθετήθηκε αρχικά σε δοχείο υψηλής σχετικής υγρασίας και σταθερής θερμοκρασίας με απιονισμένο νερό και αφέθηκε να προσροφήσει υγρασία.

5.2 Αποτελέσματα - συζήτηση

5.2.1 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού τέφρας

Από τα δείγματα που είχαμε να συγκρίνουμε, δηλαδή το αλεύρι μπισκοτοποιίας μαλακού σίτου του ομίλου «Μύλοι Λούλη Α.Ε.», της

βιομηχανικής μονάδας Σούρπης και το αποτέλεσμα της άλεσης του αλεύρου αυτού με την τεχνολογία «jet mill», παραθέτονται τα ακόλουθα αποτελέσματα στον πίνακα (5.2.1.1) τα οποία επεξεργάστηκαν με το στατιστικό πακέτο Statgraphics Centurion XVII.(2012).

Το ποσοστό τέφρας του αλεύρου μπισκοτοποιίας είναι 0,39% σύμφωνα με μετρήσεις του εργαστηρίου μηχανικής του Γ.Π.Α. Το ποσοστό τέφρας όμως των δειγμάτων που έχουν επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» αναμένεται να είναι μεγαλύτερο (Protonotariou et al., 2014). Αυτό διαπιστώνεται και από τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα, όπου το αλεύρι αλέστηκε με πίεση αέρα 8 ατμόσφαιρες και στην περίπτωση που ξαναπεράστηκε από το μύλο με πίεση 8 ατμόσφαιρες και απόδοση πάντα την ίδια, δηλαδή 100% του προϊόντος.

Πίνακας 5.2.1.1: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) τέφρας στα δείγματα αλεύρων μπισκοτοποιίας και αλεύρων που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill».

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% Ash
BF	0,50 ± 0,01a
BF 8 bar 100%	0,56 ± 0,03a
BF 8 bar 100% *2	0,53 ± 0,00a

Η ποσοστιαία συγκέντρωση τέφρας δεν παρουσιάζεται να διαφοροποιείται στους τύπους αλεύρων που έχουν επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill», καθώς δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων. Δεν προκύπτει επιπλέον στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του ποσοστού τέφρας μεταξύ του απλού περάσματος από τον μύλο και του διπλού περάσματος, όπου οι συνθήκες λειτουργίας του μύλου διατηρούνται ίδιες κάθε φορά.

5.2.2 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας

Τα δείγματα που υπολογίστηκαν προέρχονται από αλεύρι μπισκοτοποιίας μαλακού σίτου του ομίλου «Μύλοι Λούλη Α.Ε.», αλλά και από αλεύρι ολικής άλεσης μαλακού σίτου από τους «Μύλους Κρήτης». Η ποσοστιαία συγκέντρωση υγρασίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές στο αλεύρι μπισκοτοποιίας είναι 13,9% και στο αλεύρι ολικής άλεσης 11,5%. Όπως φαίνεται μεταξύ των πινάκων (5.2.2.1) και (5.2.2.2), το αρχικό ποσοστό (%) υγρασίας είναι μεγαλύτερο στο προϊόν μπισκοτοποιίας από το προϊόν ολικής άλεσης με $12,55 \pm 0,09$ και $11,93 \pm 0,01$ αντιστοίχως.

Τα υπόλοιπα δείγματα είναι αποτέλεσμα της άλεσης των δύο τύπων αλεύρου με την τεχνολογία «jet mill». Στα δείγματα αξιοποιείται η δυνατότητα του μύλου πεπιεσμένου αέρα να αλέθει με πίεση 8 ατμόσφαιρες και με ανατροφοδότηση του δείγματος με απόδοση 100%. Επιπλέον υπολογίζεται η ποσοστιαία συγκέντρωση υγρασίας στις 8 ατμόσφαιρες με απόδοση 70% και στις 4 ατμόσφαιρες με απόδοση 100%.

Πίνακας 5.2.2.1: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) υγρασίας στα δείγματα αλεύρων μπισκοτοποιίας που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill» σε σχέση με τον αρχικό τύπο.

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% HUMID. (g H ₂ O/100g αλεύρου)
BF	12,55 ± 0,09e
BF 8 bar 100%	8,71 ± 0,01c
BF 8 bar 100% *2	6,98 ± 0,02a
BF 8 bar 70%	8,28 ± 0,08b
BF 4bar 100%	9,74 ± 0,03d

Πίνακας 5.2.2.2: Ποσοστιαία συγκέντρωση (%) υγρασίας στα δείγματα αλεύρων ολικής άλεσης που επεξεργάστηκαν με τεχνολογία «jet mill» σε σχέση με τον αρχικό τύπο.

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% HUMID. (g H ₂ O/100g αλεύρου)
WF	11,93 ± 0,01d
WF 8 bar 100%	8,91 ± 0,06c
WF 8 bar 100% *2	7,17 ± 0,07a
WF 8 bar 70%	7,64 ± 0,05b
WF 4bar 100%	8,83 ± 0,03c

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επεξεργασία του αλεύρου με την τεχνολογία «jet mill», τόσο μικρότερα είναι τα ποσοστά υγρασίας του τελικού προϊόντος, τόσο στην περίπτωση του αλεύρου μπισκοτοποιίας όσο και του αλεύρου ολικής. Τα μικρότερα ποσοστά υγρασίας υπολογίστηκαν στην περίπτωση όπου το άλευρο υποβλήθηκε σε άλεση με τη μέγιστη πίεση 8 ατμόσφαιρες και με ανατροφοδότηση του δείγματος με απόδοση 100%. Το ποσοστό υγρασίας φαίνεται να μειώνεται όσο το μέγεθος των σωματιδίων του προϊόντος μειώνεται, επειδή δημιουργείται μεγαλύτερη επιφάνεια αντίδρασης στο προϊόν. Όσο

παρατηρείται να μειώνεται η διάμεσος της διαμέτρου από (d_{50})= 63,18 μm σε άλευρο με κατάλληλο κόσκινο, σε 19,14 μm , με την τεχνολογία «jet mill», τόσο το ποσοστό υγρασίας μειώνεται από 13,73% σε 7,66% (Protonotariou et al., 2014). Η υγρασία μειώνεται επίσης λόγω της μεγαλύτερης παραμονής του προϊόντος στο ρεύμα αέρα με αποτέλεσμα την περαιτέρω ξήρανσή του.

Ο βαθμός απόδοσης επηρεάζει επίσης το ποσοστό υγρασίας, και φαίνεται ότι όσο μικρότερος είναι τόσο τα ποσοστά υγρασίας μειώνονται, τόσο στο αλεύρι ολικής όσο και στο μπισκοτοποιίας. Ο μικρότερος βαθμός απόδοσης συνεπάγεται μικρότερη ποσότητα ενδοσπερμίου, άρα και μικρότερα ποσοστά «κατεστραμμένου αμύλου», που είναι παράγοντας συγκράτησης υγρασίας. Το αλεύρι ολικής παρουσιάζει εκτός από το αρχικό του δείγμα μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με το αλεύρι μπισκοτοποιίας, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες, οι οποίες είναι παράγοντας ρόφησης υγρασίας.

5.2.3 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού υγρής -ξηρής γλουτένης

Διαφοροποίηση παρατηρείται στον υπολογισμό μόνο της συγκέντρωσης γλουτένης στο αλεύρι ολικής άλεσης. Οι τιμές των συγκεντρώσεων της γλουτένης φαίνονται να είναι αυξημένες κατά τη χρήση της τεχνολογίας «jet mill», όπως φαίνεται στον πίνακα (5.2.3.2).

Πίνακας 5.2.3.1: Ποσοστό (%) υγρής και ξηρής γλουτένης αλεύρου μπισκοτοποιίας σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% Gw	% Gd
BF	26,74 \pm 0,81a	8,72 \pm 0,25a
BF 8 bar 100%	27,42 \pm 0,97a	9,13 \pm 0,25a
BF 8 bar 100% *2	27,14 \pm 1,39a	8,86 \pm 0,15a

Τα δείγματα του αλεύρου μπισκοτοποιίας δεν παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην ποσοστιαία σύσταση υγρής και ξηρής γλουτένης, σε σχέση με το αρχικό δείγμα του αλεύρου μπισκοτοποιίας που εξετάστηκε ως προς την περιεκτικότητα γλουτένης του, όπως φαίνεται στον πίνακα (5.2.3.1). Αν και τα αποτελέσματα υπολογισμού της ποσοστιαίας σύστασης γλουτένης δεν αποκλίνουν σημαντικά από τα δεδομένα της αναφοράς ελέγχου του

παραγωγού (26.6% -για την υγρή γλουτένη), δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την διαφοροποίηση της ποσοστιαίας σύστασης της γλουτένης κατά την επεξεργασία του αλεύρου με την τεχνολογία «jet mill». Σημαντική στατιστική διαφορά παρατηρείται στο ποσοστό της υγρής γλουτένης που παρατηρείται σε μεγαλύτερο ποσοστό στο αλεύρι ολικής άλεσης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill», ενώ σύμφωνα με άλλη μελέτη θα περιμέναμε να είναι μικρότερη η ποσότητα γλουτένης (Blanchard et al., 2012). Συμπεραίνεται ότι η διαφοροποίηση οφείλεται στη μείωση της υγρασίας. Σε ξηρή βάση δεν παρουσιάζονται διαφορές.

Πίνακας 5.2.3.2: Ποσοστό (%) υγρής και ξηρής γλουτένης αλεύρου ολικής άλεσης σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% Gw	% Gd
WF	30,86 ± 0,13a	10,83 ± 0,12a
WF 8 bar 100%	34,90 ± 0,20b	11,52 ± 0,37a
WF1 8 bar 100% *2	34,61 ± 0,75b	11,24 ± 0,00a

5.2.4 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού συγκράτησης νερού (WHC)

Όπως προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις της WHC, όσο μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων, λόγω της επεξεργασίας με την τεχνολογία «jet mill», τόσο το ποσοστό της συγκρατούμενης υγρασίας αυξάνεται (Berton, et al., 2002). Από τον πίνακα (5.2.4.1.) φαίνεται ότι η μέση τιμή της WHC αυξάνεται τόσο στο ολικής άλεσης άλευρο, όσο και στο μπισκοτοποιίας, στις 8 ατμόσφαιρες και στις 8 ατμόσφαιρες με ανατροφοδότηση του αλεύρου στο μύλο.

Οι τιμές WHC για το άλευρο μέτριου και σκληρού τύπου κυμαίνονται μεταξύ του 62% (Blanchard et al., 2012) και στο μαλακού τύπου άλευρο κυμαίνονται μεταξύ του 68%. Η αύξηση της ικανότητας συγκράτησης νερού έχει σημαντική επίδραση στις αρτοποιητικές ιδιότητες του αλεύρου, καθώς κατά τη θέρμανση του προϊόντος και καθώς οι πρωτεΐνες μετουσιώνονται αποβάλουν νερό, το οποίο προσλαμβάνεται από το άμυλο και τις φυτικές ίνες και επηρεάζει την υφή του τελικού προϊόντος. Η αύξηση των τιμών της WHC δεν εξηγείται λόγω της αύξησης του ποσοστού του «κατεστραμμένου αμύλου», επειδή η τεχνολογία «jet mill» δεν αυξάνει δραματικά το ποσοστό

«κατεστραμμένου αμύλου» (Protonotariou et al., 2014). Αντιθέτως η WHC αυξάνεται όσο αυξάνεται η επιφάνεια, ανά μονάδα βάρους, λόγω του ότι έτσι αυξάνεται ο ρυθμός προσρόφησης νερού (Pauly, et al., 2013; Manley, et al., 2011). Στην περίπτωση της ανατροφοδοσίας η ικανότητα συγκράτησης νερού είναι πάντα μεγαλύτερη (περίπου 18%) σε σχέση με το αρχικό δείγμα είτε είναι άλευρο μπισκοτοποιίας είτε είναι άλευρο ολικής άλεσης.

Πίνακας 5.2.4.1: Ποσοστιαία (%) ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) αλεύρου μπισκοτοποιίας και ολικής σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill» .

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	% WHC (g H₂O/100g αλεύρου)
BF	65,56±1,33a
BF 8 bar 100%	74,51±1,63b
BF 8 bar 100% *2	76,94 ± 1,36bc
WF	77,46 ± 1,32a
WF 8 bar 100%	83,66 ± 0,62b
WF 8 bar 100% *2	91,33 ± 2,04c

5.2.5 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού της ολικής πρωτεΐνης

Όπως προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων με τη μέθοδο Kjeldahl, η υπολογιζόμενη ποσότητα πρωτεΐνης διαφοροποιείται μεταξύ του αλεύρου μπισκοτοποιίας που έχει χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και του αλεύρου μπισκοτοποιίας της τεχνολογίας «jet mill». Η διαφοροποίηση της ποσότητας πρωτεΐνης δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη για να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα, καθώς δεν έχει γίνει σημαντικός αριθμός επαναλήψεων μεταξύ του αλεύρου μπισκοτοποιίας ελέγχου και του αλεύρου μπισκοτοποιίας της τεχνολογίας «jet mill» με ανατροφοδότηση. Δεν υπάρχει ξεκάθαρη διαφοροποίηση, κάτι το οποίο θα έπρεπε να ισχύει στην περίπτωση που η τεχνολογία «jet mill» επηρέαζε την περιεκτικότητα πρωτεΐνης του δείγματος.

Πίνακας 5.2.5.1: Ποσοστό πρωτεΐνης (%) στο άλευρο μπισκοτοποιίας με και χωρίς επεξεργασία «jet mill» .

ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	Protein
BF	9,98 ± 0,1a
BF 8 bar 100%	10,67 ± 0,19b
BF 8 bar 100% *2	10,11± 0,00ab

Στα πειραματικά αποτελέσματα ολικής άλεσης δεν έχουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές, όπως προκύπτει από των έλεγχο πολλαπλών μεταβλητών που έγινε.

Πίνακας 5.2.5.2: Ποσοστό πρωτεΐνης (%) στο άλευρο ολικής άλεσης με και χωρίς επεξεργασία «jet mill» .

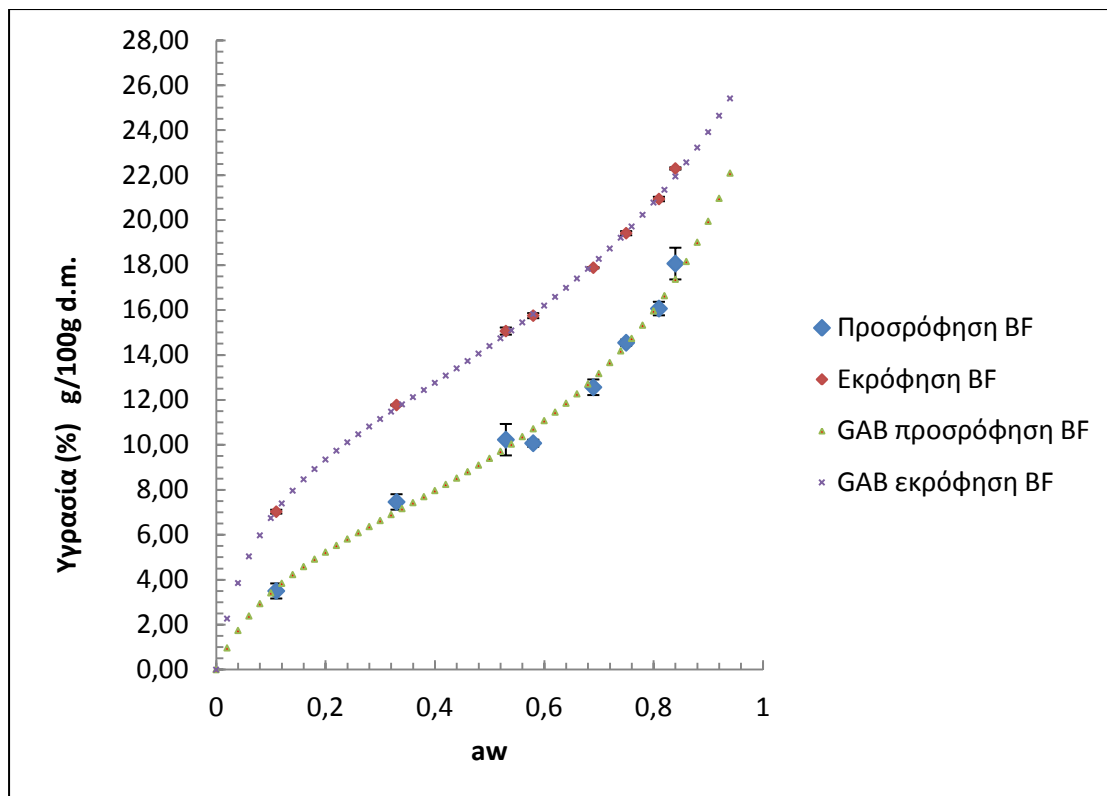
ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΛΕΥΡΟΥ	Protein
WF	13,78 ± 0,00a
WF 8 bar 100%	14,26 ± 0,00a
WF 8 bar 100% *2	14,14 ± 0,00a
WF 8 bar 70%	14,15 ± 0,00a
WF 4bar 100%	14,19 ± 0,00a

5.2.6 Πειραματικά αποτελέσματα υπολογισμού ισόθερμων καμπυλών

Το αλεύρι σίτου είναι ένα προϊόν με μεγάλη ικανότητα ρόφησης, σε σχέση με άλλα άλευρα, όπως αυτό της σόγιας που μελετήθηκε για τις ιδιότητες προσρόφησης του. Οι πειραματικές τιμές προσρόφησης και εκρόφησης των τεσσάρων δειγμάτων αλεύρων, όπως παρατηρείται για τιμές ενεργότητας νερού των αλάτων της μεθόδου COST -90, που χρησιμοποιήθηκε, παρουσιάζονται στους ακόλουθους τέσσερις πίνακες (5.2.6.1, 5.2.6.3 και 5.2.6.5 και 5.2.6.7). Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται η καμπύλες ρόφησης και εκρόφησης για το άλευρο μπισκοτοποιίας (BF) και για το άλευρο που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (BF 8bar 100%), αλλά και για το άλευρο ολικής (WWF) και για αυτό που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (WWF 8bar 100%).

Πίνακας 5.2.6.1: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποιίας (g/ 100 g d.m.).

aw	% W Προσρόφηση	% W Εκρόφηση
0,11	3,50 ± 0,34	7,03 ± 0,09
0,33	7,46 ± 0,34	11,77 ± 0,02
0,53	10,23 ± 0,7	15,06 ± 0,16
0,58	10,07 ± 0,16	15,75 ± 0,11
0,69	12,56 ± 0,35	17,88 ± 0,03
0,75	14,54 ± 0,14	19,42 ± 0,09
0,81	16,06 ± 0,3	20,94 ± 0,1
0,84	18,07 ± 0,71	22,3 ± 0,05



Δ/μα 5.2.6.1: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποΐας.

Το διάγραμμα (5.2.6.1) προσρόφησης και εκρόφησης του αλεύρου μπισκοτοποΐας περιγράφει την ποσοστιαία ποσότητα νερού ανά g ξηράς ουσίας, που έχει προσροφηθεί στο άλευρο μαλακού τύπου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως παράγοντας ελέγχου. Οι μετρήσεις για την προσρόφηση έγιναν από την 6^η ημέρα έως την 12^η ημέρα. Οι μετρήσεις μεταξύ της 8^{ης} ημέρας και της 12^{ης} δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Οι μετρήσεις για την εκρόφηση έγιναν από την 5^η ημέρα έως την 13^η ημέρα και μεταξύ της 11^{ης} και της 13^{ης} ημέρας οι μετρήσεις δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Και τα αποτελέσματα του πίνακα (5.2.6.1) προέκυψαν μόνο από τις μετρήσεις της 12^{ης} ημέρας για την προσρόφηση και για την εκρόφηση μόνο από τη 13^η ημέρα με τέσσερις επαναλήψεις σε κάθε ενεργότητα νερού. Τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο GAB στο διάγραμμα, τόσο για την προσρόφηση, όσο και για την εκρόφηση.

Τα πειραματικά δεδομένα ακολουθούν το μοντέλο GAB (4.5.1.1.3) με τις πολυωνμικού τύπου συναρτήσεις όπως φαίνονται στον πίνακα (5.2.6.2) για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

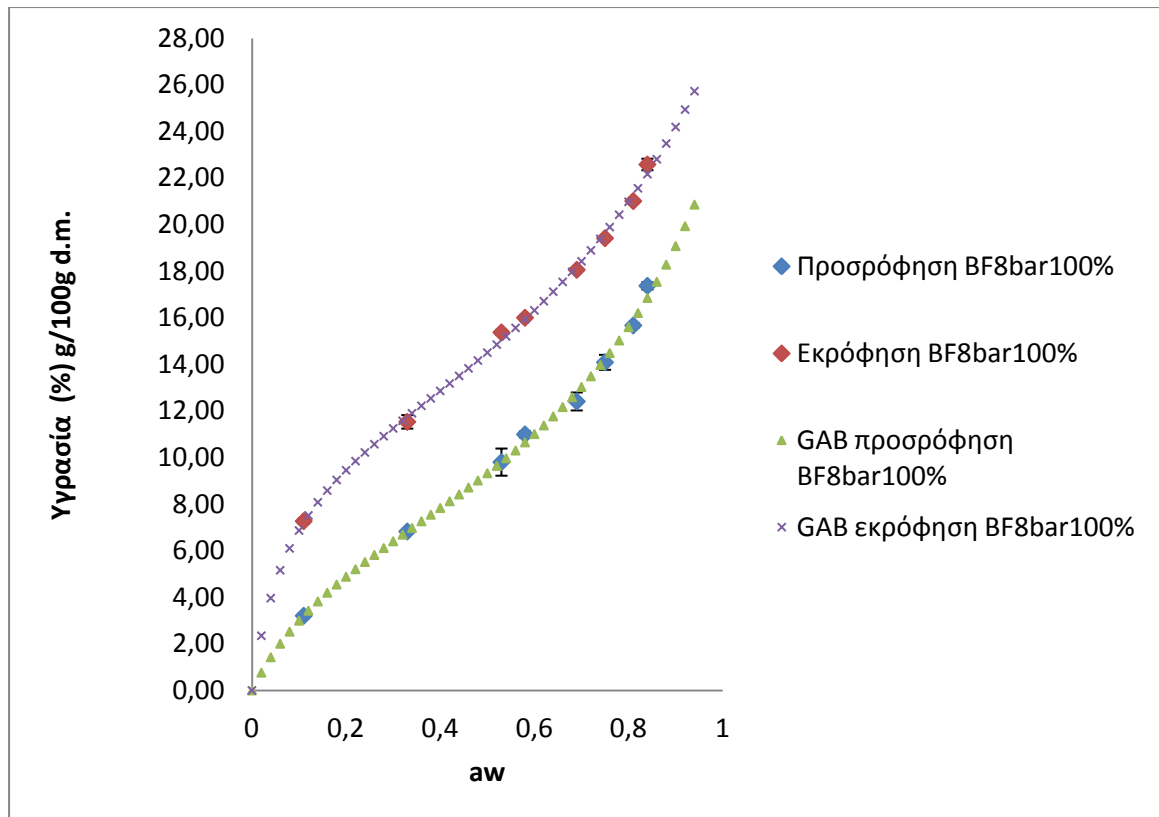
Πίνακας 5.2.6.2: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ	ΕΚΡΟΦΗΣΗ
$\frac{a_w}{W} = 0,0183 + 0,1197a_w - 0,0999 a_w^2$	$\frac{a_w}{W} = 0,0072 + 0,0816a_w - 0,0531 a_w$

Εφαρμόζοντας τα πειραματικά δεδομένα παρατηρήθηκε ότι συμπίπτουν των θεωρητικών με $R^2 = 0,9336$ για την προσρόφηση και $R^2 = 0,9983$ για την εκρόφηση.

Πίνακας 5.2.6.3: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποιίας που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (g/ 100 g d.m.).

aw	% W Προσρόφηση	% W Εκρόφηση
0,11	3,20 ± 0,11	7,27 ± 0,11
0,33	6,82 ± 0,05	11,53 ± 0,29
0,53	9,80 ± 0,58	15,37 ± 0,11
0,58	10,99 ± 0,13	16,00 ± 0,11
0,69	12,41 ± 0,39	18,06 ± 0,09
0,75	14,09 ± 0,32	19,42 ± 0,08
0,81	15,67 ± 0,11	21,01 ± 0,09
0,84	17,37 ± 0,16	22,58 ± 0,25



Δ/μα 5.2.6.2: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο μπισκοτοποιίας που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.

Οι μετρήσεις για την προσρόφηση έγιναν από την 8^η ημέρα έως την 16^η ημέρα. Οι μετρήσεις μεταξύ της 14^{ης} ημέρας και της 16^{ης} δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Οι μετρήσεις για την εκρόφηση έγιναν από την 9^η ημέρα έως την 16^η ημέρα και μεταξύ της 14^{ης} και της 16^{ης} ημέρας οι μετρήσεις δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Και τα αποτελέσματα του πίνακα (5.2.6.3) προέκυψαν μόνο από τις μετρήσεις της 16^{ης} ημέρας για την προσρόφηση και για την εκρόφηση μόνο από τη 16^η ημέρα με τέσσερις επαναλήψεις σε κάθε ενεργότητα νερού.

Εφαρμόζοντας τα πειραματικά δεδομένα παρατηρήθηκε ότι συμπίπτουν των θεωρητικών με μια απόκλιση $P= 3\%$. Τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο GAB στο διάγραμμα, τόσο για την προσρόφηση, όσο και για την εκρόφηση.

Τα πειραματικά δεδομένα ακολουθούν το μοντέλο GAB (4.5.1.1.3) με τις πολυωνυμικού τύπου συναρτήσεις όπως φαίνονται στον πίνακα (5.2.6.4) για τον υπολογισμό των K , C , W_m .

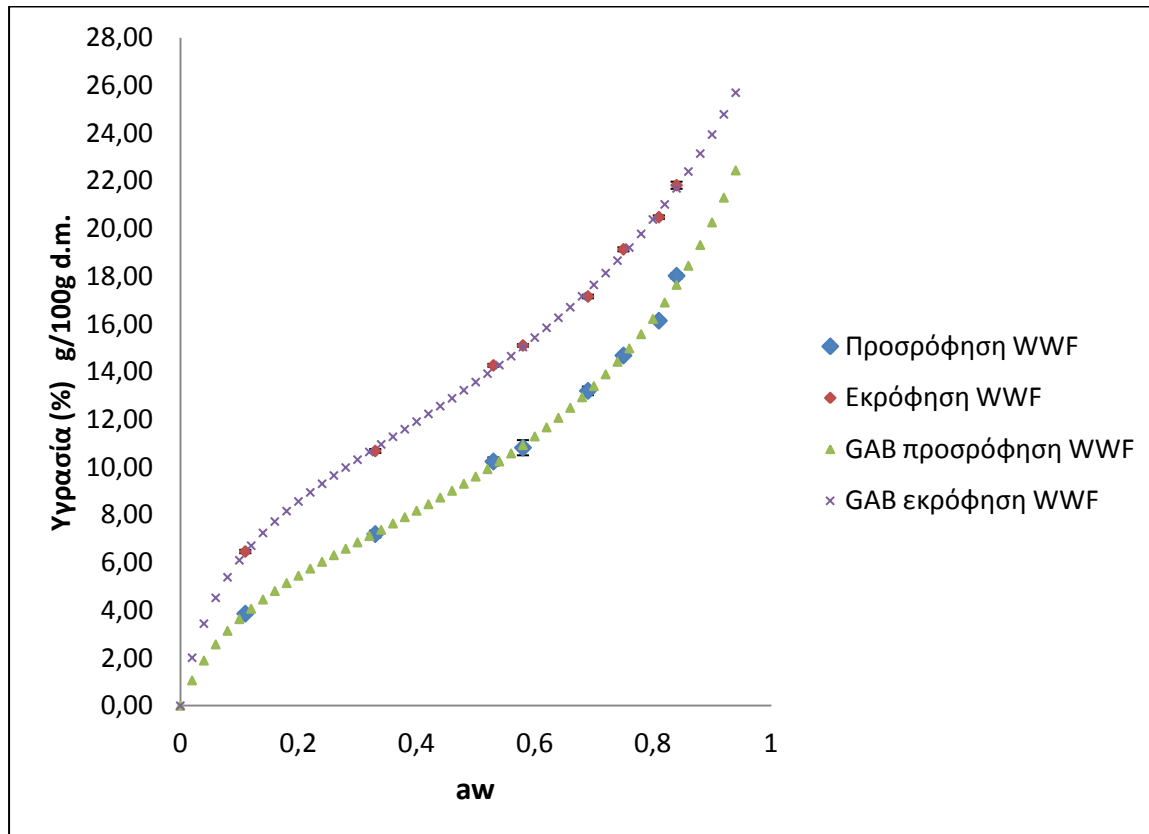
Πίνακας 5.2.6.4: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ	ΕΚΡΟΦΗΣΗ
$\frac{a_w}{W} = 0,0242 + 0,1005 a_w - 0,0833 a_w^2$	$\frac{a_w}{W} = 0,0069 + 0,082a_w - 0,0537 a_w$

Όπου, $R^2 = 0,972$ για την προσρόφηση και $R^2 = 0,9958$ για την εκρόφηση.

Πίνακας 5.2.6.5: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης (g/ 100 g d.m.).

aw	% W Προσρόφηση	% W Εκρόφηση
0,11	3,86 ± 0,08	6,47 ± 0,07
0,33	7,20 ± 0,14	10,68 ± 0,08
0,53	10,24 ± 0,17	14,27 ± 0,06
0,58	10,82 ± 0,32	15,10 ± 0,05
0,69	13,20 ± 0,18	17,15 ± 0,08
0,75	14,68 ± 0,05	19,13 ± 0,08
0,81	16,14 ± 0,08	20,48 ± 0,07
0,84	18,02 ± 0,11	21,82 ± 0,15



Δ/μα 5.2.6.3: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής.

Οι μετρήσεις για την προσρόφηση έγιναν από την 7^η ημέρα έως την 15^η ημέρα. Οι μετρήσεις μεταξύ της 13^{ης} ημέρας και της 15^{ης} δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Οι μετρήσεις για την εκρόφηση έγιναν από την 5^η ημέρα έως την 18^η ημέρα και μεταξύ της 16^{ης} και της 18^{ης} ημέρας οι μετρήσεις δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Και τα αποτελέσματα του πίνακα (5.2.6.5) προέκυψαν μόνο από τις μετρήσεις της 15^{ης} ημέρας για την προσρόφηση και για την εκρόφηση μόνο από τη 18^η ημέρα με τέσσερις επαναλήψεις σε κάθε ενεργότητα νερού.

Εφαρμόζοντας τα πειραματικά δεδομένα παρατηρήθηκε ότι συμπίπτουν των θεωρητικών. Τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο GAB στο διάγραμμα, τόσο για την προσρόφηση, όσο και για την εκρόφηση. Τα πειραματικά δεδομένα ακολουθούν το μοντέλο GAB (4.5.1.1.3) με τις πολυωνυμικού τύπου συναρτήσεις όπως φαίνονται στον πίνακα (5.2.6.6) για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

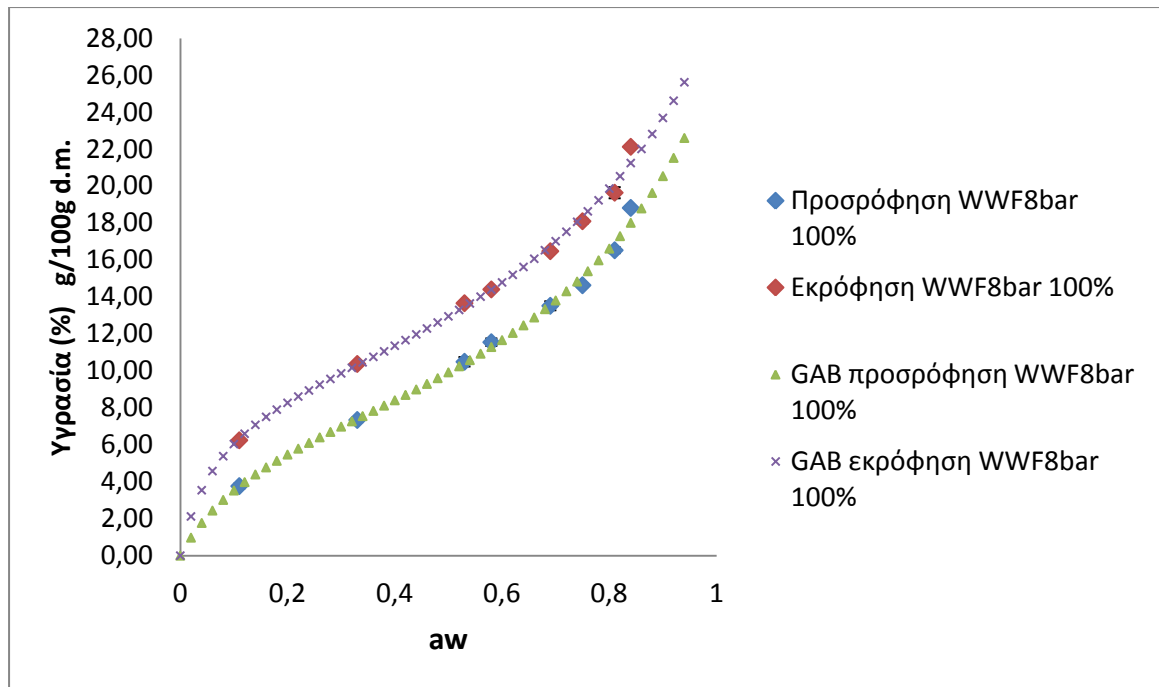
Πίνακας 5.2.6.6: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ	ΕΚΡΟΦΗΣΗ
$\frac{a_w}{W} = 0,0164 + 0,1215 a_w - 0,1004 a_w^2$	$\frac{a_w}{W} = 0,0082 + 0,0881 a_w - 0,0616 a_w$

Όπου, $R^2 = 0,9922$ για την προσρόφηση και $R^2 = 0,9975$ για την εκρόφηση.

Πίνακας 5.2.6.7: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης (g/ 100 g d.m.).

aw	% W Προσρόφηση	% W Εκρόφηση
0,11	3,76 ± 0,13	6,24 ± 0,07
0,33	7,34 ± 0,12	10,38 ± 0,07
0,53	10,49 ± 0,26	13,66 ± 0,04
0,58	11,55 ± 0,20	14,41 ± 0,07
0,69	13,52 ± 0,24	16,48 ± 0,06
0,75	14,63 ± 0,10	18,10 ± 0,13
0,81	16,53 ± 0,16	19,64 ± 0,30
0,84	18,82 ± 0,09	22,13 ± 0,07



Δ/μα 5.2.6.4: Προσρόφηση και εκρόφηση στο άλευρο ολικής άλεσης που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.

Οι μετρήσεις για την προσρόφηση έγιναν από την 6^η ημέρα έως την 21^η ημέρα. Οι μετρήσεις μεταξύ της 19^{ης} ημέρας και της 21^{ης} δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Οι μετρήσεις για την εκρόφηση έγιναν από την 5^η ημέρα έως την 12^η ημέρα και μεταξύ της 10^{ης} και της 12^{ης} ημέρας οι μετρήσεις δεν διαφέρουν περισσότερο από το τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Και τα αποτελέσματα του πίνακα (5.2.6.7) προέκυψαν μόνο από τις μετρήσεις της 21^{ης} ημέρας για την προσρόφηση και για την εκρόφηση μόνο από τη 12^η ημέρα με τέσσερις επαναλήψεις σε κάθε ενεργότητα νερού.

Εφαρμόζοντας τα πειραματικά δεδομένα παρατηρήθηκε ότι συμπίπτουν των θεωρητικών. Τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται να ακολουθούν το μοντέλο GAB στο διάγραμμα, τόσο για την προσρόφηση, όσο και για την εκρόφηση.

Τα πειραματικά δεδομένα ακολουθούν το μοντέλο GAB (4.5.1.1.3) με τις πολυωνυμικού τύπου συναρτήσεις όπως φαίνονται στον πίνακα (5.2.6.8) για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

Πίνακας 5.2.6.8: Πολυωνυμικές συναρτήσεις για τον υπολογισμό των K, C, Wm.

ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ	ΕΚΡΟΦΗΣΗ
$\frac{a_w}{W} = 0,0184 + 0,1087 a_w - 0,0894 a_w^2$	$\frac{a_w}{W} = 0,0075 + 0,0976 a_w - 0,0708 a_w^2$

Όπου, $R^2 = 0,9745$ για την προσρόφηση και $R^2 = 0,9895$ για την εκρόφηση.

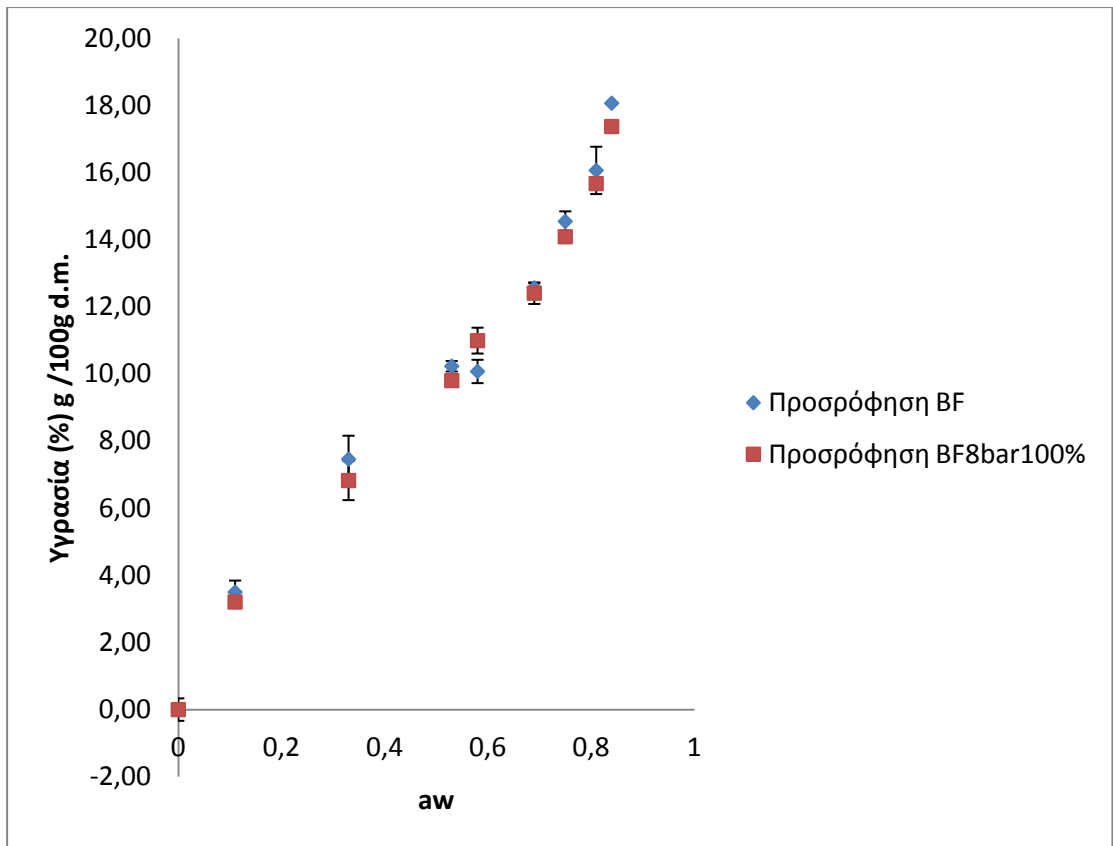
5.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων- Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο τύπων αλεύρων

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα άλευρα σίτου τα οποία επεξεργάστηκαν με την τεχνολογία «jet mill» παρουσιάζουν διαφοροποίηση ως προς κάποιες παραμέτρους, οι οποίες αναφέρονται στα μοντέλα προσομοίωσης της ρόφησης. Σε γενικές γραμμές, όπως προκύπτει από τα διαγράμματα της προσρόφησης, τόσο στο αλεύρι ολικής άλεσης, όσο και στο αλεύρι μπισκοτοποιίας, δεν φαίνονται να προκύπτουν διαφορές μεταξύ του αλεύρου ελέγχου και του αλεύρου της τεχνολογίας «jet mill». Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του αλεύρου ολικής άλεσης, τόσο το δείγμα ελέγχου, όσο και αυτό της τεχνολογίας «jet mill» δεν παρουσιάζουν διαφορές κατά την προσρόφηση και την εκρόφηση.

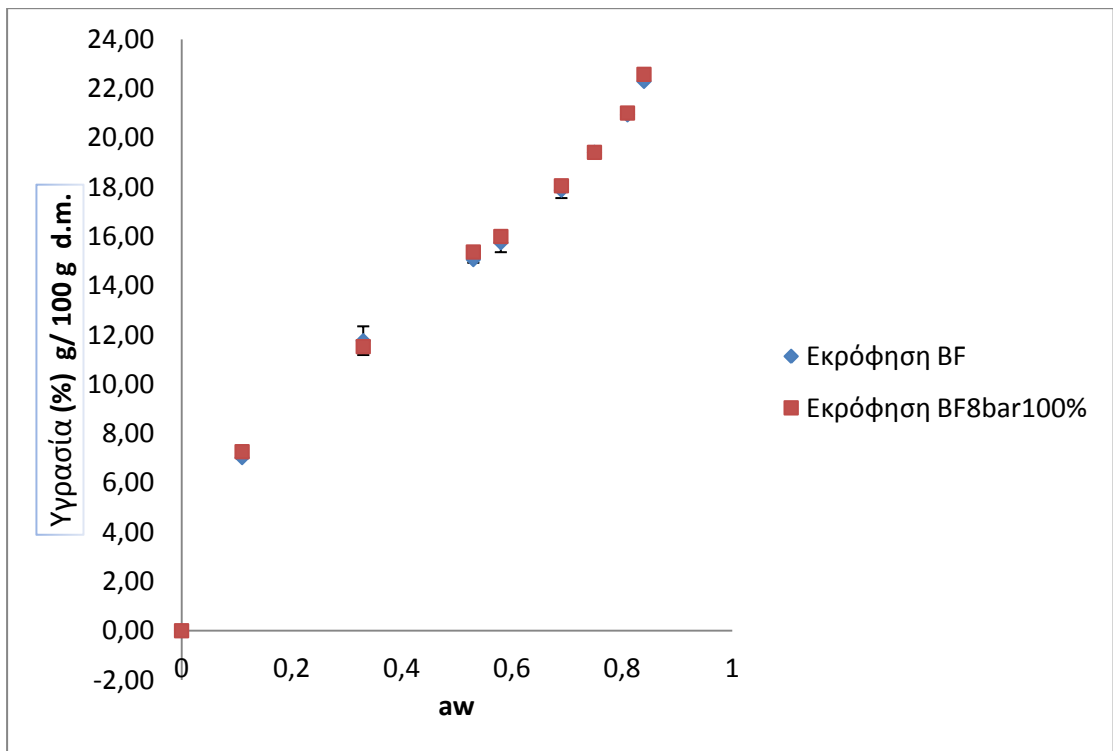
Η προσρόφηση είναι μικρότερη σε όλες τις τιμές ενεργότητας νερού για το άλευρο μπισκοτοποιίας που έχει επεξεργαστεί με την τεχνολογία «jet mill», . Αντίθετα για τις τιμές εκρόφησης σε κάθε ενεργότητα νερού όταν αποκαθίσταται η ισορροπία, δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα. Κάποιες από τις τιμές εκρόφησης για το άλευρο μπισκοτοποιίας ελέγχου και της τεχνολογίας «jet mill» βρίσκονται πολύ κοντά και δεν υπάρχει ξεκάθαρη τάση για την εκρόφηση στο αλεύρι λόγω της τεχνολογίας «jet mill». Οι μικρότερες τιμές προσρόφησης για την τεχνολογία «jet mill», δημιουργούν μεγαλύτερη υστέρηση μεταξύ της εκρόφησης και της προσρόφησης στο άλευρο μπισκοτοποιίας «jet mill».

Στο αλεύρι ολικής άλεσης οι τιμές της προσρόφησης δεν παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένη διαφοροποίηση σε σχέση με την τεχνολογία «jet mill». οι περισσότερες τιμές προσρόφησης του αλεύρου ολικής «jet mill» είναι μεγαλύτερες από αυτές του ελέγχου. Σχετικά με την εκρόφηση, οι τιμές της στο αλεύρι «jet mill» ολικής είναι χαμηλότερες σε σχέση με το αλεύρι ελέγχου ολικής. Η υστέρηση που δημιουργείται μεταξύ προσρόφησης και εκρόφησης είναι ελάχιστα μεγαλύτερη στο άλευρο ολικής άλεσης του ελέγχου.

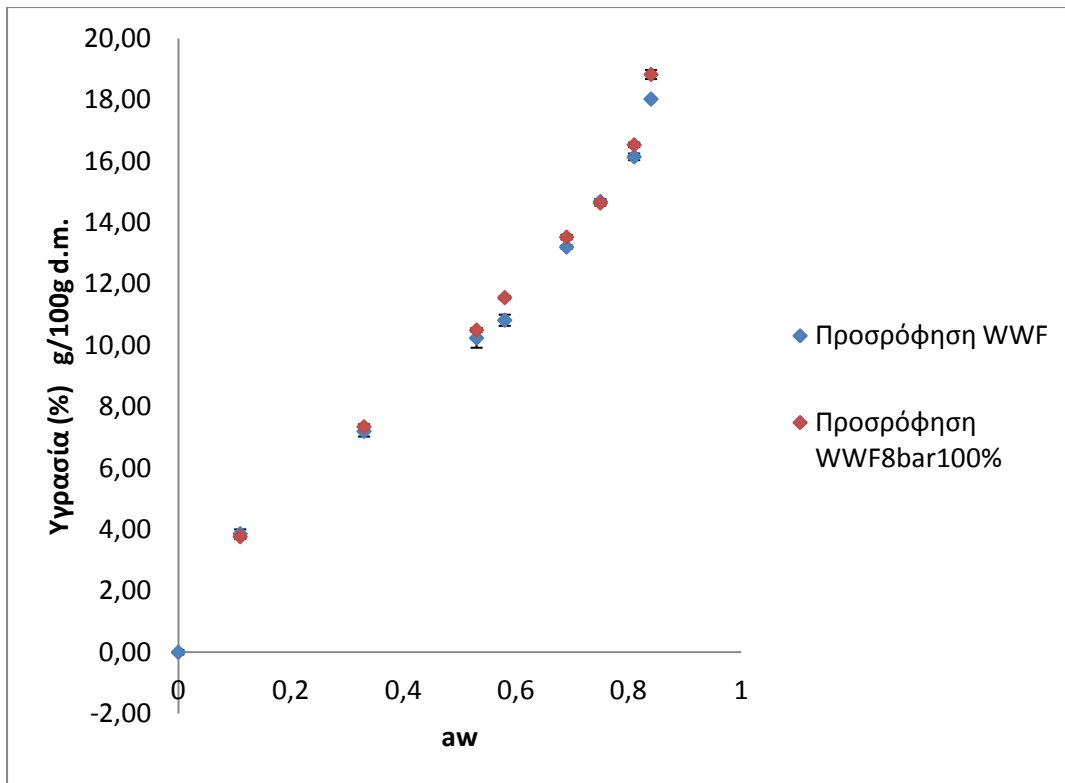
Κατά συνέπεια δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η προσρόφηση είναι μικρότερη όταν το δείγμα επεξεργάζεται με την τεχνολογία «jet mill», επειδή στο αλεύρι ολικής δεν έχουμε μικρότερες τιμές προσρόφησης στην τεχνολογία «jet mill». Το ίδιο συμβαίνει και για την εκρόφηση δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι λόγω του ότι παρουσιάζει μικρότερες τιμές στο άλευρο ολικής άλεσης «jet mill», ότι τα λεπτόκοκκα σωματίδια σε κατάσταση ισορροπίας με το περιβάλλον υγρασίας συγκρατούν λιγότερο νερό ανά ξηρό βάρος.



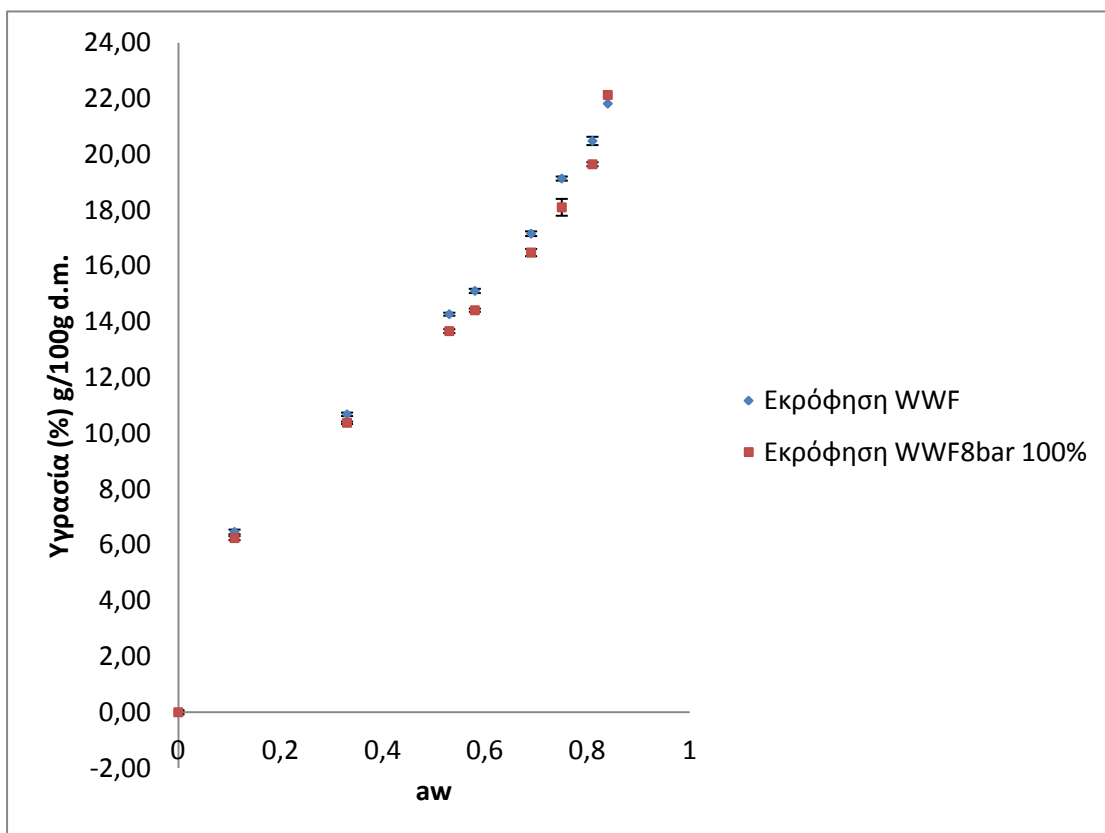
Δ/μα 5.3.1: Σύγκριση προσρόφησης στο αλεύρι μπισκοτοποιίας ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.



Δ/μα 5.3.2: Σύγκριση εκρόφησης στο αλεύρι μπισκοτοποιίας ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.



Δ/μα 5.3.3: Σύγκριση προσρόφησης στο αλεύρι ολικής άλεσης ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.



Δ/μα 5.3.4: Σύγκριση εκρόφησης στο αλεύρι ολικής άλεσης ελέγχου και τεχνολογίας «jet mill» στις 8 ατμόσφαιρες 100% απόδοσης.

Η παράμετρος C περιγράφει τη διαφορά του μεγέθους της εντροπίας των ανώτερων στρωμάτων του προϊόντος με το μονομοριακό στρώμα και η μεταβολή της παραμέτρου εξαρτάται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας μεταξύ του μονομοριακού στρώματος και των ανώτερων στρωμάτων (πολυστρωματική στοιβάδα) που καλύπτουν το μονομοριακό. Δηλαδή $dC = -C [(H_m - H_n)/RT^2] dT$. Η παράμετρος k περιγράφει τη διαφορά του μεγέθους της εντροπίας των στρωμάτων όπου το νερό παίζει το ρόλο του διαλύτη και των ανώτερων στρωμάτων ή της πολυστρωματικής στοιβάδας (Timmermann et al., 2001) και η μεταβολή της παραμέτρου εξαρτάται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και της ενθαλπίας μεταξύ των στρωμάτων του νερού και των πολυστρωματικών στοιβάδων. Δηλαδή $dK = -K [(H_l - H_n)/RT^2] dT$. Η διαφορά μεταξύ της ενθαλπίας του μονομοριακού στρώματος και της πολυστρωματικής στοιβάδας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τη διαφορά μεταξύ των στρωμάτων του νερού και των πολυστρωματικών στοιβάδων, έτσι φαίνεται και στις τιμές του πίνακα με τις συγκεντρωτικές μεταβλητές. (Blahovec, J., 2004; Timmermann et al., 2001).

Πίνακας 5.3.1: Τιμές των παραμέτρων K, C, Wm κατά την προσρόφηση.

	Wm	K	C
BF CONTROL	6,80	0,75	10,73
BF 8bar 100%	7,42	0,71	7,86
WWF CONTROL	6,84	0,75	11,87
WWF 8 bar 100%	7,37	0,73	10,07

Πίνακας 5.3.2: Τιμές των παραμέτρων K, C, Wm κατά την εκρόφηση.

	Wm	K	C
BF CONTROL	11,05	0,62	20,36
BF 8bar 100%	11,04	0,62	21,10
WWF CONTROL	10,11	0,66	18,31
WWF 8 bar 100%	9,26	0,69	20,89

Οι τιμές των παραμέτρων C και K παρατηρείται ότι μειώνονται σε σχέση με τις τιμές των αλεύρων ελέγχου για την προσρόφηση και το αντίθετο συμβαίνει για την εκρόφηση. Στην περίπτωση της εκρόφησης οι τιμές των παραμέτρων C και K παρατηρείται να αυξάνονται και για τα δύο άλευρα, εκτός από την περίπτωση του αλεύρου μπισκοτοποιίας, όπου η τιμή της K παραμένει σταθερή. Κατά συνέπεια με αυτά τα πειραματικά δεδομένα, όπου οι παράμετροι C και K δεν μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο για την εκρόφηση

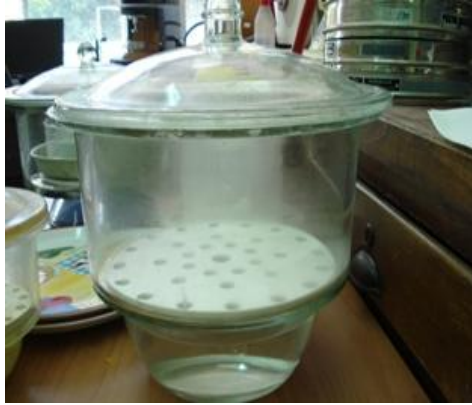
και την προσρόφηση, από τη στιγμή που και οι δύο αναφέρονται στο φαινόμενο ρόφησης μορίων νερού σε κατάσταση ισορροπίας, υποστηρίζεται το ίδιο συμπέρασμα που εξάγεται και από τα συγκριτικά διαγράμματα προσρόφησης και εκρόφησης. Ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των ισόθερμων καμπυλών προσρόφησης και εκρόφησης κατά την μεταβολή της κοκκομετρίας.

Η παράμετρος W_m του μονομοριακού στρώματος φαίνεται να αυξάνεται ελαφρώς κατά την προσρόφηση με τη μείωση της κοκκομετρίας και μάλιστα η αύξηση είναι αρκετά μεγαλύτερη στο αλεύρι μπισκοτοποιίας σε σχέση με το αλεύρι ολικής άλεσης. Αυτό μπορεί να συσχετιστεί με το ότι η προσρόφηση στα λεπτόκοκκα άλευρα μπισκοτοποιίας είναι μικρότερη και αυτό κάνει τα μόρια του νερού να συγκρατούνται από το μονομοριακό στρώμα με ισχυρότερους δεσμούς. Αλλά οι δεσμοί αυτοί δεν φαίνονται να παρουσιάζονται κατά την εκρόφηση, όπου αν και στα λεπτόκοκκα άλευρα ολικής η εκρόφηση είναι μικρότερη, δεν φαίνεται να αυξάνεται η παράμετρος του μονομοριακού στρώματος ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg ξ.μ.}$). Κατά την εκρόφηση τα αποτελέσματα είναι αντίθετα, καθώς με τη μείωση της κοκκομετρίας η παράμετρος του μονομοριακού στρώματος μειώνεται και μάλιστα η μείωση είναι πολύ πιο έντονη στο αλεύρι ολικής άλεσης.

Εφόσον τα πειραματικά αποτελέσματα συμπίπτουν των θεωρητικών και δεν φαίνεται διαφορά μεταξύ της προσρόφησης και της εκρόφησης του αλεύρου, ούτε τα συστατικά των δύο τύπων φαίνεται να διαφοροποιούνται σημαντικά από τον έλεγχο τέφρας, γλουτένης και πρωτεΐνης που έγινε, θα συμπεραίναμε ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των ισόθερμων μεταβολών και της διαμέτρου των σωματιδίων του αλεύρου. Το ποσοστό υγρασίας σε υγρή βάση φαίνεται να μειώνεται όσο το μέγεθος των σωματιδίων του προϊόντος μειώνεται, επειδή δημιουργείται μεγαλύτερη επιφάνεια αντίδρασης στο προϊόν. Το ίδιο όμως δεν συμβαίνει για την ξηρή βάση, παρά μόνο κατά την προσρόφηση του αλεύρου μπισκοτοποιίας και την εκρόφηση του αλεύρου ολικής άλεσης. Πιθανότατα μια εκτίμηση της πυκνότητας του αλεύρου μετά την άλεση με την τεχνολογία «jet mill» να μπορούσε να εξηγήσει γιατί κατά την ξηρή φάση το λεπτόκοκκο άλευρο δεν φαίνεται να προσροφά την μικρότερη ποσότητα νερού.

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΙΚΟΝΕΣ:



1. Υδατόλουτρο που χρησιμοποιείται για την προσρόφηση υγρασίας πριν την εκρόφηση.



2. Ξηραντήριο με φιαλίδια στο τελευταίο στάδιο της μεθόδου εκρόφησης, μετά την ξήρανση για 5 ώρες.



3. Φιαλίδια με αλεύρι μέσα σε γυάλα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AACC 2000. Basic Method 08-01Ash. Crude Protein-Improved Method KjedaHlMethod 46-10. Gluten—Hand Washing Method Gluten 38-10, In: 10th Ed. International. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
2. Al-Muhtaseb, A.H., McMinn, W.A.M. & Magee, T.R.A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Trans IChemE* 80 (part C), 80, 118–128.
3. Andrade P., R.D., Lemus M., R. and Pérez C., C. E. (2011). Models of sorption isotherms for food: uses and limitations *VITAE, REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA* 18(3), 325-334.
4. AOAC 1998. Method 925.10 Solids (Total) and Moisture in Flour. In: Horwitz, W. (Ed.), 17th Ed. Official Method of Analysis of AOAC International. Maryland, USA.
5. Atkins, P. (1998). *Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
6. Atwell, W.A., (2001). Wheat Flour. *Practical guides for the food industry*. eds. Eagan Press Handbook Series. Publishing by the American Association of Cereal Chemists, Inc, USA, pp. 2-51.
7. Berton, B., Scher, J., Villieras, F., Hardy, J., (2002). Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. *Powder Technol.* 128, 326–331.
8. Beuchat, L.R. (1981). Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Foods World* 26 (7), 345–349.
9. Blahovec, J., (2004). Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. *Journal of Food Engineering*, 65, 489-495.
10. Blahovec, J., Yanniotis, S., (2009). Modified classification of sorption isotherms. *Journal of Food Engineering*, 91, 72-77.
11. Blahovec, J., Yanniotis, S., (2008). GAB Generalized equation for sorption phenomena. *Food Bioprocess Technol*, 1, 82-90.
12. Blanchard, C., Labouré, H., Verel, A., Champion, D., (2012). Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: Proton mobility and rheological properties assessment. *Journal of Cereal Science*, 56, 691– 698.
13. CESNID (2008). Centre d' Ensenyament Superior de Nutricio i Dietetica. In: *Tablas de composicion de alimentos por medidas caseras de consumo habitual en Espana*. Aravaca (Madrid): McGrawZhill / Interamericana de Espana, S.A.U.
14. Chirife, E.J., Timmermann, H.O., Iglesias, A., Boquet, R., (1992). Some features of the parameter k of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. *Journal of Food Engineering*, 15, 75-82.
15. Γιαννιώτης, Σ (2012-13). Εργαστήριο Μηχανικής. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Άσκηση ενεργότητας νερού.
16. Dural N.H. and Anthony L.H. (1993). Adsorption of water on cereal-bread type dietary fibers. *Journal of Food Engineering*, 20, 17-43.

17. El-Porai, E.S., Salama, A.E., Sharaf, A.M., Hegazy, A.I., Gadallah, M.G.E. (2013) Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality. *Annals of Agricultural Science* 58 (1), 51-59.
18. FAO (2009). *Perspectivas de Cosechas y Situación Alimentaria*. SMIA Sistema Mundial de Información y Alerta. No 3, julio, 1–40. [Internet document]. URL: <http://www.fao.org/giews/>. Accessed on 14 April 2014.
19. Furmaniak, S., Terzyk, A.P., Goembiewski, R., Gauden, P.A. & Czepirski, L. (2009). Searching the most optimal model of water sorption on foodstuffs in the whole range of relative humidity. *Food Research International*, 42, 1203–1214.
20. Hans-Dieter Belitz, Werner Grosch, Peter Schieberle (2004). *Food chemistry*, Edition 3, Springer, pp. 318-323.
21. Hocking, A.D. (1988). Strategies for microbial growth at reduced water activities. *Microbiology Science* 5, 280–284.
22. Iglesias, H.A. and Chirife, J., (1995). An alternative to the Guggenheim, Anderson and De Boer model for the mathematical description of moisture sorption isotherms of foods. *Food Research International*, 28 (3), 317- 321.
23. Jay, J.M., Loessner, M.J., Golden, D.A., (2005). *Modern Food Microbiology*, Seventh edition, Ch.3: Intrinsic and Extrinsic Parameters of Foods that Affect Microbial Growth, Springer USA, p.39.
24. Καμινारीδης ΣΤ., (2010). Εργαστηριακές σημειώσεις του μαθήματος «Γαλακτοκομείας», Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων, Εργαστήριο Γαλακτοκομείας, σσ.57-62.
25. Καραγκούνη- Κύρτσου (1999). Δ.Α. Μικροβιολογία, εκδ. Αθ. Σταμούλης, Αθήνα , σσ. 235-239.
26. Khatkar, B.S., Guru Jambheshwar Uni. of Sci. and Techn., Post Graduate Diploma in Bakery Science and Technology, PGDBST – 02, Functionality of wheat flour components & bakery ingredients, Directorate of distance education, Hisar – 125001, pp. 2-25.
27. Labuza, T.P. (1968). Sorption phenomena in foods. *Food Technology*, 22, 15–24.
28. Lewicki, P. P. (2009). Data and Models of Water Activity II: Solid Foods. In: M. S. Rahman, *Food Properties Handbook*. New York: CRC Press, pp. 67-153.
29. Madigan M.T. (2005). Martinko J.M., Parker J., Brock Βιολογία Των Μικροοργανισμών τόμος Ι, για την ελληνική γλώσσα: Πανεπιστημιακές Εκδ. Κρήτης, σσ.182-185.
30. Mandala, I.G., Polaki, A., Yanniotis, S., (2009). Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. *Journal of Food Engineering*, 92, 137–145.
31. Manley, D., Pareyt, B., Delcour, J.A., (2011). Wheat Flour and Vital Wheat Gluten as Biscuit Ingredient. In: Manley, D. (Ed.), *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 109–33.

32. Martin-Santos, J., Vioque, M. & Gomez, R. (2012). Thermodynamic properties of moisture adsorption of whole wheat flour. Calculation of net isosteric heat. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 1487–1495.
33. MacGregor, A.W. and Balance, D.L. (1980). Hydrolysis of large and small granules from normal and waxy barley cultivars by alpha-amylase from barley malt. *Cereal Chem.*, 57: 6, 397-402.
34. McLaughlin, C.P. & Magee, T.R.A. (1998). The Determination of Sorption Isotherm and the Isosteric Heats of Sorption for Potatoes. *Journal of Food Engineering*, 35, 267–280.
35. McMin, W.A.M. & Magee, T.R.A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, 60, 157–165.
36. Mencov, N.D., Durakova, A.G., Krasteva, A., (2004). Moisture sorption isotherms of walnut flour at several temperatures. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 18, 201-206.
37. Νυχάς, Ε. Γ., (2012-13). Εργαστήριο Μικροβιολογίας & Βιοτεχνολογίας Τροφίμων- Σημειώσεις Μικροβιολογίας Τροφίμων Ι, σσ. 41-49.
38. Pauly, A., Pareyt, B., Fierens, E., Delcour, J.A., (2013). Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) Kernel Hardness: II. Implications for end-product quality and role of puroindolines there. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 12 (4), 427–438.
39. Posner, E.S. (2000). Wheat. In: *Handbook of Cereal Science and Technology, Second Edition, Revised and Expanded* (edited by Karel Kulp & Joseph G. Ponte, Jr.). pp. 1-29. USA: Marcel Dekker, Inc.
40. Protonotariou, S., Drakos, A., Evageliou, V., Ritzoulis, C., Mandala, I., (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29.
41. Rahman S. (1995) *Food Properties Handbook*, CRC Press, Boca Raton, pp. 179-392.
42. Rahman, M. S., & Labuza, T. P. (1999). Water activity and food preservation. In: M. S. Rahman, *Handbook of Food Preservation*. New York: Marcel Dekker. pp. 339–382.
43. Rahman, M. S., & Sablani, S. S. (2009). Water Activity Measurement Methods of Foods. In: M. S. Rahman, *Food Properties Handbook*. New York: CRC Press, pp. 9-33.
44. Riganakos, K.A. & Kontominas, M.G. (1997). Study of water sorption of flours (wheat and soy) using a hygrometric method: effect of relative humidity during heat treatment. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 204:369-373.
45. Sablani, S.S., Kasapis, S. & Rahman, M.S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 78, 266–271.
46. Sanguansri, P., Augustin, M.A., (2006). Nanoscale Materials Development-A Food Industry Perspective [review]. *Trends Food Sci Tech* 17 (10), 547-556.
47. Tapia, M.S, Alzamora, S.M., Chirife, J., (2007). Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability: As a Hurdle in Food Preservation. In: *Water*

- Activity in Foods*, eds. G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, Jr. Shelly, J. Schmidt, Th. P. Labuza, Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists USA, pp. 240- 281.
48. Teng, S., Wang, P., Zhu, L., Young Ming-Won, Gogos C.G., (2009). Experimental and numerical analysis of a lab-scale fluid energy mill. *Powder Technology*, 195, 31-39.
 49. The Jet Pulverizer Co., Inc.[Internet]. Available: <http://www.jetpulverizer.com/how-jet-mills-work.php> / via the INTERNET. Accessed 2014 June 9
 50. Timmermann, E.O., Chirife, J., Iglesias, H. A., (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 48, 19-31.
 51. Trunschke. A., (2013). Surface area and pore size determination. *Modern methods in heterogeneous catalysis research*. ACFHI.
 52. Τσακαλίδου, Ε., (2012-2013). Δημητριακά. Πανεπιστημιακές σημειώσεις Βιοχημείας Τροφίμων.
 53. Tsami, E., Marinos-Kouris, D. & Maroulis, Z.B. (1990). Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. *Journal of Food Science*, 55, 1594–1597.
 54. Tuunila, R. and Nyström, L., (1998). Technical note effects of grinding parameters on product fineness in jet mill grinding. *Minerals Engineering*, 11(11), 1089-1094.
 55. Van den Berg, C., (1984). Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the G.A.B. model of sorption. In: McKenna, B.M. eds. *Engineering and Foods*, vol. 1. Elsevier, New York, pp. 311–321.
 56. Vouris, D., (2013). Impact of jet milling on functional properties of wheat flour doughs. Conference presentation. American Association of Cereal Chemists International, New Mexico, U.S.A.
 57. Weisser, H., (1985). Influence of temperature on sorption equilibria. In: *Properties of water in foods*, eds. Simatos, D. and Multon, J.L., Martinus Nijhoff Publishers and NATO Scientific Affairs Division, The Netherlands, pp. 95-118.
 58. Yanniotis S. and Blahovec J., (2009). Model analysis of sorption isotherms. *Food Science and Technology*, 42, 1688-1695.