

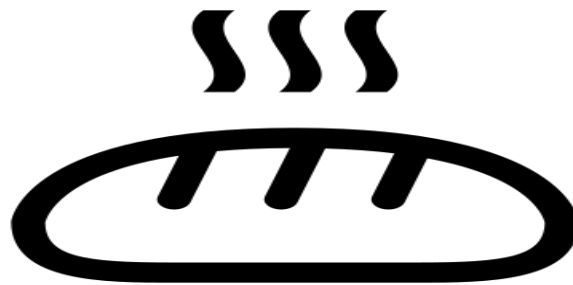


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Τομέας IV: ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

## **Εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας και χρήση της σε φρέσκα και κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΙΛΙΩΝΗ ΔΑΝΑΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΖΙΑ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019**





## Ευχαριστίες

Ύστερα από την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της. Πρωτίστως, θα ήθελα να απευθύνω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. Δρ. Κωνσταντίνα Τζιά για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, αλλά και για την εν γένει ενθάρρυνση και υποστήριξη που μου παρείχε τόσο κατά την εκπόνηση της, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στη Σχολή. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη διδάκτορα Βιργινία Γιάννου για την πολύτιμη βοήθεια και τις γνώσεις που μου παρείχε, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές της. Επίσης, ευχαριστώ τους υποψήφιους διδάκτορες Γεωργία Φρακολάκη, Μαρία Κατσούλη, Τρύφωνα Κεκέ τόσο για την προθυμία τους να με συμβουλέψουν όσο και να με βοηθήσουν ανά πάσα στιγμή.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΜΕΡΟΣ Ι.....	12
1. Εισαγωγή.....	16
2. Άρτος - βασικά συστατικά (άλευρο, μαγιά) - παραγωγική διαδικασία.....	18
2.1. Άλευρο σίτου.....	19
2.2. Τύποι αλεύρων.....	22
2.3. Άλευρο σίτου- Συστατικά.....	23
2.4. Μαγιά αρτοποιίας.....	35
2.5. Άλλα υλικά αρτοποίησης.....	39
3. Αρτοποίηση.....	46
3.1. Στάδια αρτοποίησης.....	46
4. Κατεψυγμένο ζυμάρι- Παραγωγική διαδικασία.....	52
5. Προβλήματα-Διαφορές-Λύσεις.....	58
5.1. Χρήση κρουπροστατευτικών – Τρεχαλόζη.....	60
6. Εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας-Χρήση.....	62
6.1. Διαδικασία εγκλεισμού.....	65
6.2. Χρήση εγκλεισμένης μαγιάς – φρέσκο/κατεψυγμένο ζυμάρι.....	67
ΜΕΡΟΣ ΙΙ.....	70
7. Πειραματικό μέρος.....	70
7.1. Σκοπός.....	70
7.2. Υλικά, μέθοδοι, πρώτες ύλες, αντιδραστήρια, όργανα συσκευής.....	71
8. Πειραματική διαδικασία.....	72
9. Σχεδιασμός πειραμάτων.....	82
10. Στατιστική επεξεργασία.....	84
11. Αποτελέσματα - Συζήτηση.....	86
12. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	144
13. Βιβλιογραφία.....	148
14. Παράρτημα.....	150



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ψωμί είναι ένα βασικό είδος διατροφής, το οποίο παρασκευάζεται με το ψήσιμο του ζυμαριού που γίνεται στο φούρνο. Η παρασκευή αρτοσκευασμάτων είναι μία παραδοσιακή τεχνική αιώνων, που ασκείται σε οποιαδήποτε χώρα μπορεί να καλλιεργεί ή να εισάγει σιτάρι. Αυτό σημαίνει την εξέλιξη μίας ποικίλης σειράς διαδικασιών που έχουν σχεδιαστεί, με σκοπό να προκύψει ένα ευρύ φάσμα προϊόντων αρτοποιίας. Η τεχνολογία παρασκευής αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη βιομηχανία τροφίμων. Τα αρτοσκευάσματα, ειδικά, αποτελούν ένα ξεχωριστό προϊόν, καθώς παράγονται από το ζυμάρι, που είναι ένα περίπλοκο και ζωντανό σύστημα. Πολλές βιοχημικές αλλαγές συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αρτοποίησης, οι οποίες έχουν άμεση συνέπεια στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη διατροφική ποιότητα του φρέσκου ψωμιού. Η ικανότητα του ζυμαριού να συγκρατεί CO<sub>2</sub> στο πλέγμα της γλουτένης έχει ως αποτέλεσμα τη διόγκωσή του και, μάλιστα, όσο πιο δυνατό και ανθεκτικό είναι το πλέγμα αυτό, τόσο μεγαλύτερη διόγκωση επιτυγχάνεται. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής του φρέσκου ψωμιού είναι που περιορισμένη. Για το λόγο αυτό, η βιομηχανία τροφίμων έχει στραφεί στην παραγωγή κατεψυγμένου ζυμαριού. Στην περίπτωση όμως του κατεψυγμένου ζυμαριού παρουσιάζονται άλλα προβλήματα όπως είναι η μείωση της δραστηριότητας ζύμης (μαγιάς αρτοποιίας) και η καταστροφή της δομής του δικτύου του ζυμαριού, με αποτέλεσμα την πτώση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Σήμερα, νέες τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για τη διατήρηση της βιωσιμότητας και της σταθερότητας των κυττάρων ζύμης (μαγιάς). Ο εγκλεισμός (ενθυλάκωση) έχει αποδειχθεί ότι είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους, καθώς προστατεύει τα κύτταρα της ζύμης κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης των τροφίμων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η παρασκευή φρέσκων ζυμαριών με μαγιά η οποία έχει υποστεί τη διαδικασία του εγκλεισμού, με στόχο τη μελέτη της μεταβολής των ιδιοτήτων των αρτοσκευασμάτων σε σχέση με το υλικό/φορέα το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς. Επίσης, σκοπός ήταν η παρασκευή κατεψυγμένων ζυμαριών και η μελέτη της μεταβολής των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους υπό κατάψυξη. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μελέτη της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους υπό κατάψυξη, όταν στη διαδικασία του εγκλεισμού των κυττάρων της μαγιάς γίνεται ενσωμάτωση μικροποσότητας κρουπροστατευτικού υλικού (τρεχαλόζης). Η εκπόνηση των πειραμάτων της διπλωματικής έγινε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.



Στο θεωρητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αρχικά μελετήθηκαν και παρατίθενται στοιχεία αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του σιταριού και του αλεύρου σίτου και τα συστατικά τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα διάφορα υλικά αρτοποιίας, αλλά και στα στάδια αυτής της διαδικασίας. Ακολούθως, μελετάται η συμπεριφορά του ζυμαριού υπό συνθήκες κατάψυξης, η παραγωγική διαδικασία κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων καθώς και οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατή η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους.

Τέλος, εξετάζεται ο ρόλος των πρόσθετων κρυσταλλικών μέσων για την προστασία της μαγιάς, περιγράφεται η διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς και η χρήση της σε φρέσκο και κατεψυγμένο ζυμάρι.

Στο πρώτο κομμάτι του πειραματικού μέρους, μελετήθηκε ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας και η παραγωγή φρέσκων αρτοσκευασμάτων με μαγιά που έχει προκύψει ύστερα από τη διαδικασία του εγκλεισμού (εγκλεισμένη μαγιά). Πιο συγκεκριμένα, η μαγιά αρτοποιίας εγκλείεται σε διάφορα εγκλειστικά μέσα (μαλτοδεξτρίνη, σκόνη ορού γάλακτος και κυκλοδεξτρίνη) και ενσωματώνεται στη συνέχεια στην παραγωγική διαδικασία ψωμιού. Στα δείγματα ζυμαριού εξετάζονταν κάθε φορά τα χαρακτηριστικά υφής τους. Αντίστοιχα, στα παραγόμενα αρτοσκευάσματα γίνονταν μετρήσεις του όγκου, των διαστάσεων, του χρώματος κόρας και ψίχας, των χαρακτηριστικών υφής κόρας και ψίχας και στη συνέχεια ακολουθούσε η οργανοληπτική τους εξέταση από ομάδα εκπαιδευμένων δοκιμαστών. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι τα φρέσκα αρτοσκευάσματα με μαγιά εγκλεισμένη σε σκόνη ορού γάλακτος είναι αυτά που έγιναν ιδιαίτερα αποδεκτά από τους δοκιμαστές και έχουν ανώτερα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, παρεμφερή με εκείνα των κοινών αρτοσκευασμάτων, όπως αφράτη υφή (μέγιστη σκληρότητα κόρας 10,8N) και ικανοποιητικό όγκο (130mL).

Στο δεύτερο κομμάτι του πειραματικού μέρους έγινε παραγωγή κατεψυγμένων ζυμαριών με χρήση εγκλεισμένης μαγιάς με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων και της αποτελεσματικότητας του εγκλεισμού της μαγιάς. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν δειγματοληψία, και ακολουθούσε απόψυξη των δειγμάτων ζυμαριού και κλιβανισμός τους για την παραγωγή άρτου. Στα εκάστοτε δείγματα ζυμαριού και στα παραγόμενα αρτοσκευάσματα γίνονταν ακριβώς οι ίδιες μετρήσεις όπως και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων. Βρέθηκε ότι τόσο ο χρόνος αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και το υλικό στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί ο εγκλεισμός της μαγιάς επιδρούν ιδιαίτερα στα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Η αποθήκευση των δειγμάτων ζυμαριού υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα έως ένα μήνα έδειξε ότι τα δείγματα με εγκλεισμένη μαγιά στα οποία για τον εγκλεισμό έχει

χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός μαλτοδεξτρίνη-σκόνη ορού γάλακτος είναι αυτά που είχαν παρόμοια συμπεριφορά με εκείνη των «τυφλών» δειγμάτων. Ακόμα και στις 30 ημέρες αποθήκευσης υπό κατάψυξη, ο όγκος των αρτοσκευασμάτων διατηρείται στα 105mL έναντι του όγκου των 90mL του «τυφλού» δείγματος, αλλά και η ολική αρέσκειά τους από τους δοκιμαστές διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.

Στο τρίτο κομμάτι του πειραματικού μέρους έγινε ενσωμάτωση τρεχαλόζης ως κρουπροστατευτικό στη διαδικασία του εγκλεισμού των κυττάρων της μαγιάς και στη συνέχεια έγινε παραγωγή κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του χρόνου αποθήκευσης υπό κατάψυξη στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων. Όπως και στο δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας, ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν δειγματοληψία, και ακολουθούσε απόψυξη των δειγμάτων ζυμαριού και κλιβανισμός τους για παραγωγή άρτου. Στα εκάστοτε δείγματα ζυμαριού και στα παραγόμενα αρτοσκευάσματα γίνονταν ακριβώς οι ίδιες μετρήσεις όπως και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων. Η χρήση τρεχαλόζης ως κρουπροστατευτικό των κυττάρων της μαγιάς βελτίωσε τον όγκο των αρτοσκευασμάτων και έδωσε δείγματα με σταθερότερη συμπεριφορά κατά την αποθήκευση. Βρέθηκε, ωστόσο, και πάλι ότι τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη, όσο και το υλικό στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί ο εγκλεισμός της μαγιάς επιδρούν ιδιαίτερα στα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Η αποθήκευση των δειγμάτων ζυμαριού υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα έως ένα μήνα έδειξε ότι τα δείγματα με εγκλεισμένη μαγιά στα οποία για τον εγκλεισμό έχει χρησιμοποιηθεί μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος είναι αυτά που είχαν παρόμοια συμπεριφορά με εκείνη των «τυφλών» δειγμάτων. Ακόμα και στις 30 ημέρες αποθήκευσης υπό κατάψυξη, ο όγκος των αρτοσκευασμάτων διατηρείται στα 110mL έναντι του όγκου των 90mL του «τυφλού» δείγματος, αλλά και η ολική αρέσκειά τους από τους δοκιμαστές διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.



## ABSTRACT

Bread is a staple food, made by baking the dough in the oven. Bakery is a traditional technique, practiced in any country that can grow or import wheat. This means the development of a diverse set of processes designed to produce a wide range of bakery products. Bakery technology is of particular interest to the food industry. Bakery products, in particular, are a stand-alone product as they are produced by the dough, which is a complex and lively system. Many biochemical changes occur during baking, which have a direct effect on the organoleptic characteristics and nutritional quality of fresh bread. The ability of the dough to hold CO<sub>2</sub> in the gluten grid results in its swelling and, in fact, the stronger and more durable the grid is, the higher swelling is achieved. However, the shelf life of fresh bread is limited. For this reason, the food industry has switched to frozen dough production. However, in the case of frozen dough there are other problems such as a decrease in the dough activity (bakery yeast) and the destruction of the dough network structure, resulting in a decrease in the quality of the product produced. Today, new technologies have been developed to maintain the viability and stability of yeast cells. Encapsulation has proven to be one of the most effective methods as it protects yeast cells during food processing and storage.

The purpose of this thesis was to produce fresh yeast dough which has undergone the encapsulation process, with the aim of studying the change in the properties of the bread in relation to the material / carrier used for the yeast encapsulation. The aim was also to produce frozen doughs and to study the change in their quality characteristics during their freezing storage. Finally, a study was carried out on the change of the quality characteristics of the yeast encapsulated batches during their freezing storage, when a small amount of cryoprotectant (trehalose) was incorporated into the yeast cell encapsulation process. The experiments were carried out at the Laboratory of Food Chemistry and Technology, School of Chemical Engineering, NTUA.

The theoretical part of the present thesis was initially studied the characteristics of wheat and wheat flour and their constituents. The various baking materials are also mentioned, as well as the stages of this process. Then, the behavior of the dough under freezing conditions, the production process of frozen pastries and the ways in which their quality characteristics can be improved are studied.

Finally, the role of additional cryoprotectants for the protection of yeast is examined, the process of yeast encapsulation and its use in fresh and frozen dough are described.

In the first part of the experimental part, the encapsulation of baker's yeast was studied and the production of fresh yeast bakeries that resulted from the encapsulation process (encapsulated yeast). In particular, the baker's yeast is encapsulated in various encapsulating media (maltodextrin, sweet whey powder and cyclodextrin) and then incorporated into the bread production process. The texture of the dough samples was examined each time. Correspondingly, the bakery products produced were measured in volume, dimensions, color of crust and crumb, texture characteristics of crust and crumb, followed by an organoleptic examination by a group of trained testers. The measurements showed that fresh baked breads with sweet whey powder are those which have been highly accepted by the testers and have superior quality and organoleptic characteristics similar to those of common bakery products, such as fluffy texture (max. 10,8N) and sufficient volume (130mL).

In the second part of the experimental part, frozen dough was produced using encapsulated yeast in order to study the effect of freeze storage time on the quality and organoleptic characteristics of bakeries and the efficiency of yeast encapsulation. Sampling was performed at regular intervals, followed by thawing of the dough samples and their incubation for bread production. In the dough samples and the baked goods produced, the same measurements were made as in the case of fresh breads. It has been found that both the storage time in the freezer and the material in which the yeast is encapsulated have a significant effect on the characteristics of the final products. Storing the freeze-dried dough samples for up to one month showed that the samples with encapsulated yeast in which the maltodextrin-whey powder combination was used were similar to those of the "blind" samples. Even in the 30 days of freezing storage, the volume of bakery products is maintained at 105mL against the 90mL volume of the "blank" sample, and their overall liking for testers is maintained at high levels.

In the third part of the experimental part, trehalose was incorporated as a cryoprotectant into the yeast cell encapsulation process, and then frozen bakery products were produced to study the effect of freeze storage time on the quality and characteristics of the bread. As in the second part of the experimental procedure, sampling was performed at regular intervals, followed by thawing of the dough samples and their kiln to be baked. In the dough samples and the baked goods produced, the same measurements were made as in the case of fresh breads. The use of trehalose as a cryoprotectant for yeast cells improved the volume of baked goods and gave samples with a more stable storage behavior. However, it was found

that both the storage time of frozen doughs and the material in which the yeast was encapsulated had a significant effect on the characteristics of the final products. Storing the dough samples in the freezer for up to one month showed that the samples with encapsulated yeast in which the maltodextrin - whey powder was used for inclusion were similar to those of the "blind" samples. Even during the 30 days of freezing storage, the volume of bakery products is maintained at 110mL against the 90mL volume of the "blank" sample, and their overall liking for testers is maintained at high levels.



## ΜΕΡΟΣ I

### 1. Εισαγωγή

Το ψωμί αποτελεί ένα από τα βασικά τρόφιμα, το οποίο παρασκευάζεται και καταναλώνεται στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Οι μορφές των προϊόντων αρτοποιίας έχουν εξελιχθεί έτσι, ώστε το καθένα να είναι βασισμένο σε αρκετά διαφορετικά και διακριτά χαρακτηριστικά. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, οι αρτοποιοί έχουν αναπτύξει τις παραδοσιακές ποικιλίες ψωμιού, χρησιμοποιώντας τις συσσωρευμένες γνώσεις τους στο πώς να χρησιμοποιήσουν καλύτερα τις διαθέσιμες πρώτες ύλες τους και πως να επιτύχουν την επιθυμητή ποιότητα ψωμιού. Σε ορισμένες χώρες η φύση της αρτοποιίας έχει διατηρήσει την παραδοσιακή της μορφή, ενώ σε άλλες έχει αλλάξει δραματικά. Οι μοναδικές ιδιότητες των πρωτεϊνών σίτου για το σχηματισμό γλουτένης, αλλά και η ευστροφία των αρτοποιιών στο χειρισμό των δομών της, έχουν οδηγήσει στον πολλαπλασιασμό των ποικιλιών ψωμιού. Η ικανότητά της ελαστικής μάζα της γλουτένης να παραμορφώνεται, να εκτείνεται και να ανακτά το σχήμα της, την καθιστά πολύ σημαντική στην παραγωγή του ψωμιού αλλά και όλων των προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση (Cauvain, 2003).

Ο όρος «ψωμί» χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία μεγάλη γκάμα προϊόντων με διαφορετικά σχήματα, μεγέθη, υφές, χρώματα, απαλότητα, διατροφικές ιδιότητες και γεύσεις. Μία μπαγκέτα δεν αποτελεί μπαγκέτα εάν δεν έχει τραγανή κρούστα, ενώ ο ίδιος σχηματισμός κρούστας θα ήταν απαράδεκτος για το βόρειο αμερικανικό ψωμί.

Το δίκτυο της γλουτένης είναι ικανό να παγιδεύει αέρια από τη ζύμωση του ζυμαριού. Η ικανότητά της αυτή συμβάλλει άμεσα στο σχηματισμό κυτταρικής δομής της ψίχας η οποία μετά το ψήσιμο προσδίδει υφή και διατροφικές ιδιότητες εντελώς διαφορετικές από άλλα ψημένα προϊόντα. Το κοινό θέμα σύνδεσης των περισσότερων ψημένων ψωμιών είναι ότι σχηματίζονται από οπές διάφορων σχημάτων, μεγεθών και κατανομών. Κάθε οπή αγκαλιάζεται από ένα δίκτυο συνδεδεμένων διακλαδώσεων, στο οποίο οι κόκκοι αμύλου και τα σωματίδια πίτουρου είναι σταθερά ενσωματωμένα. Όταν η ψίχα υποβληθεί σε πίεση με τα δάκτυλα παραμορφώνεται και όταν εξαλειφθεί η δύναμη, αποκτά το αρχικό της σχήμα, τουλάχιστον όταν το προϊόν είναι φρέσκο. Αυτός ο συνδυασμός κυτταρικής ψίχας με την ικανότητα ανάκτησης μετά τη συμπίεση διακρίνει σε μεγάλο βαθμό τα ψωμιά από άλλα ψημένα προϊόντα. Αυτό είναι και το χαρακτηριστικό που επιδιώκουν οι αρτοποιοί στα περισσότερα προϊόντα ψωμιού (Cauvain, 2003).



Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδικασίες παρασκευής ψωμιού. Ωστόσο, όλες έχουν ένα κοινό στόχο: να μετατρέψουν το αλεύρι σίτου και άλλα συστατικά σε ένα ελαφρύ και εύγευστο προϊόν. Η διαδικασία μετάβασης από το αλεύρι στο ψωμί οφείλεται στις μοναδικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του σιταριού και στην ικανότητά τους να σχηματίζουν μία συνεκτική μάζα ζυμαριού μόλις το άλευρο ενυδατωθεί και υποβληθεί στην ενέργεια ανάμιξης, ακόμη και με το χέρι. Αυτή η συνεκτική μάζα, αφού διαμορφωθεί σε ένα ζυμάρι, έχει την ικανότητα να παγιδεύει αέρια κατά την ζύμωση, τη διόγκωση και το ψήσιμο που επιτρέπουν στη μάζα του να εκταθεί για να γίνει πιο μαλακή, ελαφρύτερη και πιο γευστική μετά το ψήσιμο. Οι ρεολογικές αυτές αλλαγές έχουν ως στόχο να αυξηθεί ο όγκος της ψημένης μάζας και να προκύψει ένα προϊόν με ακόμη πιο μαλακό, πιο εύπεπτο χαρακτήρα και διαφορετική γεύση.

Το ψωμί αποτελούσε ένα από τα σημαντικότερα συστατικά της ανθρώπινης διατροφής, για χιλιάδες χρόνια με αποτέλεσμα η επεξεργασία του αλεύρου και η μετατροπή του σε ψωμί να είναι μία από τις παλαιότερες βιοτεχνολογικές διαδικασίες.

Τα προϊόντα αρτοποιίας είναι πλούσια σε υδατάνθρακες, οι οποίοι παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για τις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Γι' αυτό το λόγο θεωρούνται πολύ σημαντικά για μία ισορροπημένη και θρεπτική διατροφή. Επίσης, τα προϊόντα αρτοποιίας παρέχουν πολλές σημαντικές βιταμίνες του συμπλέγματος Β, βιταμίνη Ε, μεταλλικά στοιχεία (ασβέστιο, σίδηρο) και διαιτητικές ίνες, ειδικά τα ολικής άλεσης. Αν και το ψωμί είναι τρόφιμο με βάση τους υδατάνθρακες, θεωρείται επίσης μία καλή πηγή πρωτεΐνης στη διατροφή. Επιπλέον, τα περισσότερα προϊόντα αρτοποιίας είναι επίσης χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά. Τα προϊόντα ζυμαριού ταξινομούνται σύμφωνα με τα συστατικά που χρησιμοποιούνται στη συνταγή του ψωμιού. Τα προϊόντα αρτοποιίας ζυμαριού χωρίς λιπαρά αποτελούνται από αλεύρι, νερό, μαγιά και αλάτι. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πλήρης έλλειψη λιπιδίων ή η μειωμένη περιεκτικότητά τους σε λιπαρά. Τα κανονικά προϊόντα αρτοποιίας μπορούν επιπλέον να περιλαμβάνουν ζάχαρη, λιπίδια ή γάλα σε μικρές ποσότητες (Giannou, Bail, 2005).

Κατά τη διάρκεια όλων των βημάτων της αρτοποιίας, εμφανίζονται πολύπλοκοι χημικοί, βιοχημικοί και φυσικοί μετασχηματισμοί, οι οποίοι επηρεάζουν και επηρεάζονται από τα διάφορα συστατικά του αλεύρου. Επιπλέον, πολλές ουσίες χρησιμοποιούνται σήμερα για να επηρεάσουν τα δομικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των συστατικών του αλεύρου για να βελτιστοποιήσουν τη λειτουργικότητά τους στην αρτοποιία.

## 2. Άρτος - βασικά συστατικά (άλευρο, μαγιά) - παραγωγική διαδικασία

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ψωμιού που παράγονται σε όλο τον κόσμο. Οι διαφορετικοί τύποι ψωμιού που υπάρχουν οφείλονται στα δημητριακά που διατίθενται και στην τεχνολογία επεξεργασίας που εφαρμόζεται για τη μετατροπή των σιτηρών που χρησιμοποιούνται. Το ψωμί, ως βασικό τρόφιμο πολλών εκατομμυρίων ανθρώπων, καταναλώνεται και παράγεται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Βασικά όμως, τα περισσότερα ψωμιά μπορούν να θεωρηθούν ως εδώδιμοι αφροί που παράγονται με την εφαρμογή της «παραδοσιακής βιοτεχνολογίας». Το ψωμί μπορεί να παραχθεί από έναν αριθμό δημητριακών. Το πλέον κατάλληλο δημητριακό για την παραγωγή φραντζολών που διαστέλλονται λόγω ζύμωσης για την παραγωγή ψωμιού μεγάλου όγκου είναι το σιτάρι. Αυτή η καταλληλότητα είναι αποτέλεσμα των ιδιοτήτων των πρωτεϊνών σίτου. Οι πρωτεΐνες που είναι υπεύθυνες για τις χρήσιμες ιδιότητες του αλεύρου σίτου είναι οι γλοιαδίνες και οι γλουτενίνες, οι οποίες από κοινού είναι γνωστές ως γλουτένη. Οι ελαστικές ιδιότητες των πρωτεϊνών αυτών καθιστούν το αλεύρι σίτου τόσο καλό για την παρασκευή του ψωμιού και πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας για να διασφαλιστεί ότι αυτές οι ιδιότητες δεν θα επηρεαστούν αρνητικά.

Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα σιτηρά εκτός από το σιτάρι που μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων αρτοποιίας. Το ψωμί σίκαλης υπήρξε βασικό τρόφιμο πολλών ανθρώπων στον κόσμο. Το αλεύρι σίκαλης, αν και δεν παράγει ψωμί με τόσο καλή δομή ψίχας ή όγκο όπως το ψωμί σιταριού, λειτουργεί ικανοποιητικά. Μία μικρή προσθήκη αλεύρου σίτου στο αλεύρι σίκαλης μπορεί να επιφέρει μεγάλη βελτίωση στην απόδοση ψησίματος των αλεύρων σίκαλης. Το αλεύρι σίκαλης μπορεί να περιέχει αυξημένα επίπεδα ενζύμων τα οποία είναι επιβλαβή για την παραγωγή άρτου. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πρόωρη βλάστηση της σίκαλης στον αγρό, πριν από τη συγκομιδή και την άλεση.

Ένα ακόμα δημητριακό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ψωμιού καθώς περιέχει γλουτένη, είναι το κριθάρι. Το κριθάρι, παρόλο που δεν είναι ένα κοινότυπο δημητριακό ψωμιού, μπορεί να προστεθεί σε μικρές ποσότητες στα αλεύρια σίτου. Και πάλι, δεν παράγει ψωμί με τόσο καλή δομή ψίχας ή όγκο ψωμιού όπως το ψωμί σιταριού (Lygh, 2000).

## 2.1. Άλευρο σίτου

Το αλεύρι είναι το πιο σημαντικό συστατικό σε όλα τα προϊόντα αρτοποιίας, καθώς είναι ο καθοριστικός παράγοντας για τις ρεολογικές ιδιότητες των ζυμαριών. Μπορεί να προέρχεται από σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, καλαμπόκι, βρώμη, αμάραντο, κεχρί κ.ο.κ. και αποτελείται από πρωτεΐνες, άμυλο και μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες, ίνες, λιπίδια, νερό και μικρές ποσότητες βιταμινών, μετάλλων και ενζύμων. Το αλεύρι σίτου είναι αυτό που χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων εξαιτίας της μοναδικής ικανότητάς του να παρέχει ελαφριά και εύγευστη φραντζόλα ψωμιού όταν υποστεί τη διαδικασία ζύμωσης του ζυμαριού (Giannou, Bail, 2005).

Η μεγάλη πλειοψηφία του ψωμιού παράγεται παραδοσιακά από αλεύρι σίτου. Εκτός από το βασικό συστατικό άμυλο, το αλεύρι σίτου περιέχει επίσης πολλούς άλλους τύπους ουσιών όπως η γλουτένη, οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες καθώς και τα λιπίδια. Οι ουσίες αυτές είναι οι σημαντικότερες όσον αφορά την συνεισφορά τους στη δυνατότητα επεξεργασίας της πρώτης ύλης και από άποψη της ποιότητας των τελικών προϊόντων. Βασική για την επιτυχία της αρτοποιίας είναι η καταλληλότητα των πρώτων υλών, κυρίως το σιτάρι που αλέθεται σε αλεύρι.

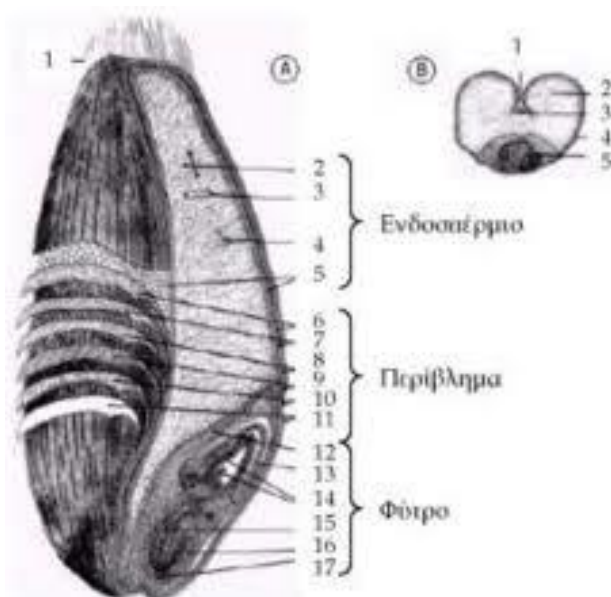
### 2.1.1. Καρπός σίτου-Ανατομία

Ο μαλακός σίτος είναι μέλος των άγριων αγρωστωδών (οικογένεια Gramineae) που προέρχονται από μέρη της Δυτικής Ασίας. Ανήκει σε μία από τις οικογένειες *Triticum* γνωστή ως *Triticum aestivum*. Είναι αξιοσημείωτο ότι έχει καλλιεργηθεί για περίπου 10.000 χρόνια. Η παρουσία ενός μοναδικού ελαστικού συμπλέγματος πρωτεϊνών στο σιτάρι, γνωστό ως σύμπλεγμα γλουτένης, εξασφαλίζει ότι παρέχεται μία μήτρα για τα αέρια ώστε να σχηματίσουν μία ομοιόμορφη και ανοικτή υφή η οποία προτιμάται για το ζυμωμένο ψωμί (Cornell, 2003).

Η δομή ενός πυρήνα σιταριού είναι αρκετά περίπλοκη και αποτελείται από πολλές, εύκολα διακριτές περιοχές. Η καρυοψίδα, όπως είναι γνωστή βοτανικά, έχει ωοειδές σχήμα με διαμήκη πτυχή. Το μήκος του πυρήνα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του σίτου και τις συνθήκες ανάπτυξης, αλλά είναι γενικά περίπου 4 - 8mm. Το εξωτερικό στρώμα ή η επιδερμίδα είναι μία θήκη για άλλα στρώματα κυττάρων, τα οποία αποτελούν περικάρπιο πάχους περίπου 50μm. Κάτω από ένα στρώμα nucellar ιστού βρίσκεται το στρώμα αλευρόνης, πριν εμφανιστεί το πλούσιο σε άμυλο ενδοσπέρμιο από το οποίο παράγεται το λευκό αλεύρι. Το ενδοσπέρμιο είναι αυτό που περιέχει την αποθηκευμένη τροφή για το φυτό και αντιπροσωπεύει

πάνω από το 80% του βάρους του πυρήνα. Το ενδοσπέρμιο, εκτός από τους υδατάνθρακες, περιέχει τις αλβουμίνες, τις σφαιρίνες και τις κυριότερες πρωτεΐνες του σύμπλοκου γλουτένης, γλουτενίνες και γλοιαδίνες. Το φύτρο βρίσκεται προς το κάτω άκρο του πυρήνα και στην αντίθετη πλευρά της πτυχής. Το φύτρο σιταριού αντιπροσωπεύει μόνο 2-3% κατά βάρος του πυρήνα, αλλά είναι πλούσιο σε πρωτεΐνη (περίπου 25%) και λιπίδια (8 - 13%). Το φύτρο σίτου διατίθεται χωριστά, καθώς είναι μία σημαντική πηγή βιταμίνης E. Το φύτρο σίτου έχει μόνο το ήμισυ της γλουταμίνης και της προλίνης του αλεύρου, αλλά τα επίπεδα της αλανίνης, της αργινίνης, της ασπαραγίνης, της γλυκίνης, της λυσίνης και της θρεονίνης είναι διπλάσια. Το πίτουρο λειτουργεί ως φράγμα για την προστασία των κόκκων και αποτελεί το 8% του βάρους του πυρήνα. Η στρώση αλευρόνης περικλείει το ενδοσπέρμιο και μέρος του εμβρύου. Είναι παρόμοιας μάζας με το πίτουρο και θεωρείται ως μέρος του πίτουρου.

Το πίτουρο περιέχει αδιάλυτες στο νερό ίνες. Παρόλο που η χημική του σύνθεση είναι πολύπλοκη, περιέχει ουσιαστικά κυτταρίνη -ένα πολυμερές που βασίζεται σε γλυκόζη- και πεντοζάνες, πολυμερή με βάση την ξυλόζη και την αραβινόζη, τα οποία συνδέονται στενά με τις πρωτεΐνες. Οι ουσίες αυτές είναι χαρακτηριστικές των πολυμερών που υπάρχουν στα κυτταρικά τοιχώματα του σίτου και των στρωμάτων των κυττάρων όπως η στρώση της αλευρόνης. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των επιπέδων ορισμένων αμινοξέων στο στρώμα της αλευρόνης και αυτών των αλεύρων. Τα επίπεδα γλουταμίνης και προλίνης είναι μόνο περίπου το ήμισυ, ενώ η αργινίνη είναι τριπλάσια και η αλανίνη, η ασπαραγίνη, η γλυκίνη, η ιστιδίνη και η λυσίνη είναι διπλάσια σε αλεύρι σίτου (Cornell,2003).



Εικόνα 2.1. Ανατομία καρπού σίτου

## *2.1.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά σίτου*

### *2.1.2.1. Υγρασία*

Η υγρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα του σίτου, όχι μόνο από τεχνικο-οικονομική, αλλά και από μικροβιολογική άποψη. Αφενός, επηρεάζει την ποιότητά του κατά την αγορά, τη μεταφορά, την αποθήκευση και την επεξεργασία του, και αφετέρου αυξάνει τον κίνδυνο μικροβιολογικών αλλοιώσεων. Γι' αυτό το λόγο, η υγρασία των κόκκων του σίτου θα πρέπει να ελέγχεται. Οι μέθοδοι αναφοράς για τον προσδιορισμό της υγρασίας περιλαμβάνουν τη μέτρηση της διαφοράς στη μάζα μετά την ξήρανση σε φούρνο. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι είναι χρονοβόρες, για αυτό και έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένες μέθοδοι που βασίζονται στις ηλεκτρικές ιδιότητες του συμπλόκου υγρασίας κόκκων ή χρησιμοποιώντας ανάκλαση Near Infra Red (NIR). Όπως και στην περίπτωση άλλων μεθόδων ανάλυσης, οι μετρητές υγρασίας και άλλος εξοπλισμός που μετρά έμμεσα την περιεκτικότητα σε υγρασία, πρέπει να βαθμονομούνται τακτικά (Hajsjelova,2003).

### *2.1.2.2. Φαινόμενη πυκνότητα / βάρος*

Το βάρος ενός δείγματος κόκκων είναι ένας δείκτης της πυκνότητας και της ευρωστίας του. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα. Ο όρος δοκιμαστικό βάρος αντικαθίσταται συχνά είτε από το βάρος του εκατόλιτρου είτε από το βάρος Bushel (ΗΠΑ). Εκφράζονται σε κιλά ανά εκατόλιτρο ή λίβρες ανά Bushel αντίστοιχα. Ουσιαστικά, αυτές οι μέθοδοι βασίζονται στον προσδιορισμό της μάζας ενός γνωστού όγκου κόκκων, χρησιμοποιώντας ένα βαθμονομημένο δοχείο μέτρησης (Hajsjelova,2003).

### *2.1.2.3. Σκληρότητα κόκκων*

Οι όροι «σκληρό» και «μαλακό» σχετίζονται με την ποιότητα άλεσης των κόκκων. Σε γενικές γραμμές, η έννοια της σκληρότητας του σιταριού αναφέρεται στην αντοχή του κόκκου κατά τη διαδικασία της άλεσης. Εμφανίζεται στην κοκκοποίηση του προκύπτοντος αλεύρου που παράγει ο πυρήνας. Οι διαφορές μεταξύ σκληρού και μαλακού σίτου αντικατοπτρίζονται στις ιδιότητες κοσκίνισης. Υποκειμενικά, η σκληρότητα καθορίζεται με την εκτίμηση του πόσο εύκολο ήταν να συνθλιβεί ένας πυρήνας μεταξύ των δοντιών. Επειδή τα σκληρά σιτάρια απαιτούν περισσότερη ενέργεια κατά την άλεση για τη θραύση του ενδοσπερμίου και την παραγωγή

αλεύρου, ένα σημαντικό πλήθος κόκκων αμύλου καταστρέφεται κατά την άλεση. Αντίθετα, τα μαλακά σιτάρια παράγουν άλευρα με χαμηλά επίπεδα κατεστραμμένου αμύλου. Επειδή οι κόκκοι του κατεστραμμένου αμύλου απορροφούν περισσότερο νερό από τους ακέραιους κόκκους, η απορρόφηση νερού είναι μεγαλύτερη για τα σκληρά σιτάρια σε σχέση με τα μαλακά σε ισοδύναμη πρωτεϊνική βάση (Hajsielona,2003).

## 2.2. Τύποι αλεύρων

Τα άλευρα ταξινομούνται με βάση το βαθμό άλεσής τους και παράγονται διαφορετικοί τύποι αλεύρων. Ο βαθμός άλεσης εκφράζει την απόδοση σε αλεσμένο προϊόν και ποικίλλει από 70% για το λευκό άλευρο, 85-90% για το σκούρο (wheat-meal flour) και σε 100% για το άλευρο ολικής άλεσης (whole-meal flour). Το λευκό άλευρο (γνωστό ως T.70% στην ελληνική αγορά) από μαλακό σίτο (με βάση την υφή του καρπού) ή ανάμικτο διακρίνεται σε τέσσερις τύπους: αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, για όλες τις χρήσεις και αυτοδιογκούμενο. Το άλευρο για όλες τις χρήσεις προκύπτει ύστερα από συνδυασμό αλεύρου μαλακού και σκληρού σίτου και συνήθως είναι ελάχιστα πιο αδύναμο από το αλεύρι αρτοποιίας, ώστε να είναι δυνατή και η χρήση του για γλυκίσματα. Το αυτοδιογκούμενο άλευρο είναι λευκό (ζαχαροπλαστικής ή όλων των χρήσεων) στο οποίο έχουν προστεθεί διογκωτικά συστατικά (μαγειρική σόδα και κάποιες φορές αλάτι). Άλλος τύπος λευκού αλεύρου είναι το 55% ή πολυτελείας, που χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές στην αρτοποιία και στην ζαχαροπλαστική (π.χ. άρτος πολυτελείας). Τέλος, υπάρχει άλλη μία κατηγορία αλεύρων από σκληρό σίτο (κίτρινα άλευρα) κατηγορίας M, για χρήση στην αρτοποιία για την παρασκευή προϊόντων όπως ο χωριάτικος άρτος. Συνοψίζοντας στην ελληνική αγορά, τα άλευρα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

A) Άλευρα από μαλακό σίτο ή ανάμικτο, με τις ονομασίες:

- Άλευρα κατηγορίας Π
- Άλευρα T.70%
- Άλευρα T.90% με προσθήκη ξηρής γλουτένης σε αναλογία 3%
- Άλευρα T.100% (ολικής άλεσης)

B) Άλευρα από σκληρό σίτο

- Άλευρα κατηγορίας M
- Άλευρα ολικής άλεσης για μακαρονοποιία.

Ο τύπος του αλεύρου δεν προσδιορίζει την αρτοποιητική του ικανότητα ή την αντοχή του σε μηχανική καταπόνηση, ζύμωση, κτλ. Για το λόγο αυτό, το αλεύρι τύπου Τ.70%, το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο στην αρτοποιία διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες: δυνατό, μεσαίο ή ενδιάμεσο και μαλακό. Οι ονομασίες αυτές υποδηλώνουν την αντοχή του αλεύρου αποκλειστικά στη μηχανική καταπόνηση και όχι την ικανότητα διόγκωσης (Λεμπέση, 2012, Γιάννου, 2009).

### 2.3. Άλευρο σίτου- Συστατικά

Παρόλο που σε ορισμένα μέρη του κόσμου η χρήση σίκαλης είναι αρκετά σημαντική, το σιτάρι είναι μακράν το πιο σημαντικό δημητριακό στην αρτοποιία. Τα υπόλοιπα σιτηρά χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρότερο βαθμό. Στην αρτοποιία σιταριού, το αλεύρι, το νερό, το αλάτι, η ζύμη και / ή άλλοι μικροοργανισμοί (συχνά με την προσθήκη μη βασικών συστατικών όπως π.χ. λιπαρά και ζάχαρη) αναμιγνύονται σε ένα ιξωδοελαστικό ζυμάρι, το οποίο ζυμώνεται και ψήνεται. Το αλεύρι σίτου είναι το κύριο συστατικό και αποτελείται κυρίως από άμυλο (περίπου 70-75%), νερό (περίπου 14%) και πρωτεΐνες (περίπου 10-12%). Επιπλέον, οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες (περίπου 2-3%), ιδιαίτερα οι αραβινοξυλάνες (ΑΧ) και τα λιπίδια (περίπου 2%) είναι σημαντικά συστατικά του αλεύρου όσον αφορά την παραγωγή και την ποιότητα του ψωμιού (Goesaert,2004).

#### 2.3.1. Υδατάνθρακες

Το άμυλο αποτελεί τον κύριο υδατάνθρακα του σιταριού και είναι ένα μίγμα δύο πολυμερών, αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης. Και οι δύο είναι πολυμερή της γλυκόζης. Η αμυλόζη, σε γενική μορφή, είναι ένα αρκετά γραμμικό μόριο, με άτομα σε ελικοειδή διάταξη, λόγω των γλυκοζιτικών δεσμών που είναι κυρίως του τύπου 1,4. Υπάρχει ένας μικρός βαθμός διακλάδωσης. Η αμυλοπηκτίνη, αντίθετα, είναι ένα πολύ διακλαδισμένο μόριο, με γλυκοζιτικούς δεσμούς τύπου 1,4- και τύπου 1,6-, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις διακλαδώσεις. Η αναλογία αμυλόζης / αμυλοπηκτίνης διαφέρει μεταξύ των αμύλων, αλλά τα τυπικά επίπεδα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης είναι 25-28% και 72-75% αντίστοιχα.

Το άμυλο, ο σημαντικότερος εφεδρικός πολυσακχαρίτης και το πιο άφθονο συστατικό πολλών φυτών, συμπεριλαμβανομένων των σιτηρών, εμφανίζεται υπό τη μορφή ημι-κρυσταλλικών κόκκων. Σε αντίθεση με τα περισσότερα άμυλα των φυτών, τα άμυλα σίτου, σικάλεως και κριθαριού παρουσιάζουν μία διαφορετική κατανομή μεγέθους. Οι μικροί κόκκοι είναι σφαιρικοί με διάμετρο έως περίπου 10mm (μέση διάμετρος 5mm), ενώ οι μεγάλοι κόκκοι είναι φακοειδείς με μέση



διάμετρο περίπου 20mm. Οι υγείς κόκκοι του αμύλου εμφανίζουν ανάκλαση του πολωμένου φωτός και μερική κρυσταλλικότητα που αποδίδεται κυρίως στα δομικά στοιχεία της αμυλοπηκτικής. Βρίσκονται στενά συνδεδεμένοι μεταξύ τους και έχουν την ικανότητα να απορροφούν το 30-50% του βάρους τους σε νερό και να διογκώνονται κατά περίπου 5%. Κατά την αρτοποιήση, το άμυλο του αλεύρου υφίσταται δύο σημαντικές μεταβολές: ζελατινοποίηση και αναδιάταξη. Οι μοναδικές του ιδιότητες, είναι αυτές που καθορίζουν τη λειτουργικότητά του σε πολλές εφαρμογές τροφίμων, ιδιαίτερα στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων (Goesaert,2004).

### *2.3.2. Μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες*

Στην επιστήμη των δημητριακών, οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες (NSP) είναι ένας γενικός όρος για τα πεπτίδια αραβινοξυλανών (AX), β-γλυκάνης, κυτταρίνης και αραβινογαλακτάνης, δηλαδή πολυσακχαριτών που διαφέρουν από την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη, είτε από τη φύση των μονοσακχαριτών τους, είτε από τη φύση των δεσμών τους. Μέχρι και το 75% του βάρους της ξηρής ουσίας των κυτταρικών τοιχωμάτων του ενδοσπέρματος του σίτου αποτελείται από NSP των οποίων η AX είναι κατά πολύ η σημαντικότερη ομάδα (85%). Οι υδατοδιαλυτές αραβινοξυλάνες θεωρείται ότι αυξάνουν τη συνεκτικότητα και τη σκληρότητα του ζυμαριού και μειώνουν το χρόνο ανάμιξης. Οι μη-υδατοδιαλυτές αραβινοξυλάνες έχουν παρόμοια δράση με τις υδατοδιαλυτές αραβινοξυλάνες, αλλά δεν μεταβάλλουν την εκτατότητα του ζυμαριού.

### *2.3.3. Πρωτεΐνες*

Από λειτουργική άποψη, πρέπει να διακρίνονται δύο ομάδες πρωτεϊνών σίτου: οι πρωτεΐνες μη γλουτένης, με ένα δευτερεύοντα ρόλο στην αρτοποιία, και οι πρωτεΐνες γλουτένης, με σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία. Οι πρωτεΐνες μη γλουτένης (μεταξύ 15 και 20% της ολικής πρωτεΐνης σίτου) εμφανίζονται κυρίως στις εξωτερικές στρώσεις του πυρήνα σίτου με χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο ενδοσπέρμιο. Οι περισσότερες πρωτεΐνες μη γλουτένης είναι εκχυλίσιμες σε αραιά διαλύματα άλατος και επομένως βρίσκονται στα κλάσματα Osborne αλβουμίνης και σφαιρίνης. Πρόκειται κυρίως για μονομερείς φυσιολογικώς δραστικές ή δομικές πρωτεΐνες. Ωστόσο, οι πρωτεΐνες που δεν περιέχουν γλουτένη περιλαμβάνουν επίσης μία δευτερεύουσα ομάδα πολυμερικών πρωτεϊνών σίτου, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία σφαιρίνης των πρωτεϊνών των σπόρων. Συνδέονται με τις μεγάλες πρωτεΐνες αποθήκευσης στα όσπρια και στα δημητριακά όπως στη βρώμη και το ρύζι. Αυτές οι πρωτεΐνες βρίσκονται στο υπόλειμμα μετά από κλασσική κλασμάτωση Osborne. Ο ρόλος τους στην αρτοποιία παραμένει ασαφής.



Οι πρωτεΐνες γλουτένης (μεταξύ 80 και 85% της συνολικής πρωτεΐνης σίτου) είναι οι κυριότερες πρωτεΐνες σιταριού. Ανήκουν στην κατηγορία των προλαμινών. Οι πρωτεΐνες γλουτένης βρίσκονται στο ενδοσπέρμιο του ώριμου κόκκου σιταριού όπου σχηματίζουν μία συνεχή μήτρα γύρω από τους κόκκους αμύλου. Οι πρωτεΐνες γλουτένης είναι σε μεγάλο βαθμό αδιάλυτες σε νερό ή αραιά διαλύματα άλατος (Goesaert,2004).

Δύο λειτουργικά διακριτές ομάδες πρωτεϊνών γλουτένης μπορούν να διακριθούν: μονομερικές γλοιαδίνες και πολυμερικές γλουτενίνες. Οι γλοιαδίνες και οι γλουτενίνες συνήθως βρίσκονται σε περίπου ίσες ποσότητες στο σιτάρι. Οι γλοιαδίνες αντιπροσωπεύουν μία εξαιρετικά πολυμορφική ομάδα μονομερών πρωτεϊνών γλουτένης με μοριακά βάρη κυμαινόμενα μεταξύ 30.000 και 80.000. Βιοχημικά, έχουν εντοπιστεί τρεις τύποι (α, γ και υ). Οι γλουτενίνες είναι ένα ετερογενές μίγμα πολυμερών με μοριακά βάρη που κυμαίνονται από περίπου 80.000 έως αρκετά εκατομμύρια. Οι γλουτενίνες ανήκουν μεταξύ των μεγαλύτερων πρωτεϊνών που βρίσκονται στη φύση: τα πραγματικά μεγέθη των μεγαλύτερων πολυμερών γλουτενίνης δεν έχουν ακόμη καθοριστεί με ακρίβεια λόγω των τεράστιων μεγεθών τους.

Όταν αυτές οι πρωτεΐνες διαβρέχονται χωριστά, παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Η γλοιαδίνη σχηματίζει ένα ιξώδες, κολλώδες και ανελαστικό υγρό, ενώ η γλουτενίνη σχηματίζει ένα πιο ελαστικό και ανθεκτικό ελαστικό υλικό. Αντίθετα, όταν το μίγμα τους, που ονομάζεται γλουτένη, διαβρέχεται, όπως κατά τη διάρκεια της παρασκευής του ζυμαριού, σχηματίζουν ένα συνεκτικό και ελαστικό τρισδιάστατο δίκτυο σταθεροποιούμενο με αντιδράσεις ανταλλαγής θειοδισουλφιδίου μεταξύ των πρωτεϊνών γλουτένης (Giannou, Bail, 2005).

#### *2.3.3.1. Λειτουργία γλουτένης στην αρτοποιία*

Η ποιότητα της παρασκευής του αρτοποιήσιμου αλεύρου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις πρωτεΐνες του. Το ότι τόσο η ποσότητα όσο και η σύνθεση (ποιότητα) των πρωτεϊνών είναι σημαντικές για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων είναι εμφανές από την παρατήρηση ότι η απόδοση αρτοποιήσιμου σίτου είναι γραμμικά σχετιζόμενη με την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και ότι υπάρχουν διαφορετικές γραμμικές σχέσεις για διαφορετικές ποικιλίες σίτου. Ανεξάρτητα από τους δευτερεύοντες ρόλους των διαφορετικών πρωτεϊνών (π.χ. ορισμένα ένζυμα, αναστολείς ενζύμων, πρωτεΐνες δεσμεύσεως λιπιδίων) στην αρτοποιία, οι κύριοι ποιοτικοί καθοριστικοί παράγοντες της αρτοποιίας είναι οι πρωτεΐνες γλουτένης. Πράγματι, οι ασυνήθιστες ιδιότητες των πρωτεϊνών γλουτένης επιτρέπουν το αλεύρι σίτου να μετασχηματιστεί σε ένα ζυμάρι με κατάλληλες ιδιότητες για την

παρασκευή αρτοσκευασμάτων. Αυτές οι ιδιότητες είναι μοναδικές και δεν μπορούν να βρεθούν ούτε στα δημητριακά που έχουν στενή σχέση με το σιτάρι, όπως το κριθάρι και η σίκαλη. Οι πρωτεΐνες γλουτένης υφίστανται διάφορες αλλαγές κατά τη διάρκεια των επιμέρους σταδίων της διαδικασίας παρασκευής αρτοποιήσιμων προϊόντων, παρόλο που η φύση αυτών των αλλαγών, όπως και η ίδια η δομή της φυσικής πρωτεΐνης της γλουτένης, είναι ελάχιστα κατανοητή (Goesaert, Brijs, 2004).

#### *2.3.4. Λιπαρά*

Τα λιπίδια στο αλεύρι σίτου προέρχονται από μεμβράνες, οργανίδια και σφαιροειδή (σταγονίδια γαλακτώματος που συνδέονται με τη μεμβράνη) και περιλαμβάνουν διαφορετικές χημικές δομές. Με βάση τη διαλυτότητα σε εκλεκτικές συνθήκες εκχύλισης, ταξινομούνται ως λιπίδια αμύλου και ελεύθερα και δεσμευμένα μη αμυλούχα λιπίδια. Τα μη αμυλούχα λιπίδια (NSL) περιλαμβάνουν περίπου τα 2/3 - 3/4 από τα συνολικά λιπίδια αλεύρου σίτου και αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια, καθώς και από άλλα μη πολικά λιπίδια και διγαλακτοζιδικά διγλυκερίδια (DGDG). Τα μη πολικά λιπίδια είναι κυρίως παρόντα στο ελεύθερο κλάσμα NSL, ενώ τα γλυκολιπίδια και φωσφολιπίδια συνδέονται κυρίως με τις πρωτεΐνες και υπάρχουν στο δεσμευμένο κλάσμα NSL. Τα λυσοφωσφολιπίδια, ιδιαίτερα η λυσοφωσφατιδυλοχολίνη ή η λυσολεκιθίνη, είναι τα κύρια συστατικά των λιπιδίων αμύλου και σημαντικά δευτερεύοντα συστατικά του αμύλου. Η περιεκτικότητά τους συνδέεται με το ποσοστό της αμυλόζης, με την οποία σχηματίζουν ελικοειδή σύμπλοκα. Έτσι, επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στις ιδιότητες του αμύλου, ειδικά κατά την ζελατινοποίηση και την αναδιάταξη αυτού.

##### *2.3.4.1. Λειτουργία λιπιδίων στην αρτοποιία*

Η ποιότητα της αρτοποιίας επηρεάζεται σημαντικά από τα λιπίδια του αλεύρου. Τα λιπίδια αμύλου δεσμεύονται πολύ ισχυρά στους κόκκους αμύλου και ουσιαστικά δεν είναι διαθέσιμα για να επηρεάσουν την επεξεργασία του ζυμαριού πριν από τη ζελατινοποίηση του αμύλου. Όταν τα μη πολικά λιπίδια σίτου προστεθούν στο αλεύρι, ο όγκος του ψωμιού μειώνεται. Αυτή η παρατήρηση αποδίδεται στα ελεύθερα λιπαρά οξέα. Τα πολικά λιπίδια μπορούν να έχουν παρόμοια επιβλαβή επίδραση, αλλά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, αυξάνουν τον όγκο του ψωμιού. Επιπλέον, ο λόγος των μη πολικών προς τα πολικά λιπίδια και το περιεχόμενο γαλακτολιπιδίων του ελεύθερου NSL συσχετίζονται έντονα με τον όγκο του ψωμιού. Πιθανώς, η λιπιδική λειτουργικότητα σχετίζεται με την επίδρασή τους στη σταθερότητα των αερίων των κυττάρων. Από την άποψη αυτή, η θετική επίδραση των πολικών λιπιδίων αποδίδεται στην ικανότητά τους να σχηματίζουν λιπιδικές μονοστιβάδες στην ενδιάμεση φάση αερίου / υγρού των αερίων κυττάρων,

αυξάνοντας έτσι την κατακράτηση αερίου στο ζυμάρι. Επιπλέον, τα πολικά λιπίδια αλεύρου συμβάλλουν θετικά στο χειρισμό του ζυμαριού. Επιπροσθέτως, κατά την ανάμιξη του ζυμαριού συμβαίνουν δύο διαδικασίες που επηρεάζουν τα λιπίδια και συνεπώς την απόδοση αρτοποιίας του αλεύρου. Πρώτον, το μεγαλύτερο μέρος της ελεύθερης NSL «συνδέεται» με την γλουτένη ή με την επιφάνεια των κόκκων αμύλου και ως εκ τούτου μειώνεται η δυνατότητα εξαγωγής τους. Δεύτερον, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα οξειδώνονται με λιποξυγενάση σίτου, αποδίδοντας υδροξυ υπεροξειδία και ελεύθερες ρίζες. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να οξειδώσουν άλλα συστατικά, όπως πρωτεΐνες και καρροτενοειδή, επηρεάζοντας έτσι τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού και το χρώμα της ψίχας του άρτου (Goesaert, Brijs, 2004).

Τα λιπίδια παρουσιάζουν σημαντικές λειτουργικές ιδιότητες στην παρασκευή άρτου, αν και υπάρχουν σε χαμηλότερα επίπεδα από το άμυλο ή την πρωτεΐνη. Προέρχονται από αλεύρι, στο οποίο είναι ενδογενώς παρόντα, ή από προστιθέμενο λίπος ή / και επιφανειοδραστικές ουσίες.

Η περιεκτικότητα των λιπιδίων στο αλεύρι σίτου (*Triticum aestivum* L.) είναι περίπου 2.5%. Τα λιπίδια σίτου μπορούν να διαιρεθούν σε πολικά και μη πολικά λιπίδια. Η πλειοψηφία των πολικών λιπιδίων ενός πυρήνα σίτου είναι παρόντα στο αμυλούχο ενδοσπέρμιο. Γενικά, τα πολικά λιπίδια αποτελούν το 70% με 75% των ολικών λιπιδίων αλεύρου σίτου. Στο ενδοσπέρμιο, τα πολικά λιπίδια είναι κατά κύριο λόγο παρόντα ως λιπίδια κυτταρικής μεμβράνης διπλής στοιβάδας που πιθανώς είναι υπολείμματα αμυλοπλαστών και άλλων μεμβρανών. Τα εσωτερικά λιπίδια αμύλου είναι κατά κύριο λόγο τα λυσοπολικά λιπίδια PC, PE και φωσφατιδυλογλυκερόλη (PG).

Τα μη πολικά λιπίδια είναι κατά κύριο λόγο παρόντα στους ιστούς των σπόρων σιταριού. Παραδοσιακά, τα λιπίδια σίτου έχουν επίσης υποδιαιρεθεί σε «ελεύθερα» και «δεσμευμένα» λιπίδια, με βάση την δυνατότητα εξαγωγής τους σε διαλύτες αντίθετης πολικότητας. Στην πραγματικότητα, οι μέθοδοι που εκχυλίζουν τα ελεύθερα και δεσμευμένα λιπίδια οδηγούν σε αλεύρι εμπλουτισμένο σε εσωτερικά λιπίδια αμύλου. Τα ελεύθερα λιπίδια εκχυλίζονται πρώτα με μη πολικούς διαλύτες όπως ο πετρελαϊκός αιθέρας ή το εξάνιο ενώ τα προσδεδεμένα λιπίδια στη συνέχεια εκχυλίζονται με περισσότερο πολικούς διαλύτες όπως η κορεσμένη με νερό βουτανόλη ή 2-προπανόλη: ύδωρ (90:10). Μετά την εκχύλιση των δεσμευμένων λιπιδίων, τα εσωτερικά λιπίδια αμύλου εκχυλίζονται χρησιμοποιώντας έναν πολικό διαλύτη (π.χ. κορεσμένη με νερό βουτανόλη) στους 90 ° C. Τέτοια αυξημένη θερμοκρασία προάγει τη διόγκωση του αμύλου και τη λιπιδική εκχύλιση. Τέτοια σχήματα εκχύλισης αποδίδουν τρεις ομάδες λιπιδίων αλεύρου σίτου: ελεύθερα, συνδεδεμένα και εσωτερικά λιπίδια αμύλου. Ο όρος δεσμευμένα λιπίδια αναφέρεται στη σύνδεσή τους με την επιφάνεια κόκκων

αμύλου ή με τη διασύνδεση μεταξύ αμύλου και πρωτεΐνης γλουτένης (Cornell, 2003).

Οι διαδικασίες εκχύλισης για τα ελεύθερα λιπίδια που περιγράφηκαν παραπάνω εξάγουν τόσο μη πολικές όσο και πολικές λιπιδικές τάξεις, ενώ τα δεσμευμένα και εσωτερικά λιπίδια είναι κατά κύριο λόγο πολικά. Τα εκχυλίσματα ελεύθερων και δεσμευμένων λιπιδίων έχουν σαφώς διαφορετικές λειτουργίες στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων. Συγκεκριμένα, τα πολικά ελεύθερα λιπίδια είναι περισσότερο ευεργετικά στη διαδικασία από ότι τα συνδεδεμένα λιπίδια. Είναι γνωστό ότι η μεταβολή της περιεκτικότητας σε ελεύθερα λιπίδια επηρεάζει τον όγκο και την υφή του καρπού περισσότερο από την μεταβολή σε οποιοδήποτε άλλο συστατικό αλεύρου (Pareyt, 2011).

### 2.3.5. Ένζυμα

Τα ένζυμα οποιουδήποτε φυτού είναι ζωτικής σημασίας για τη σύνθεση των τροφίμων για το φυτό και την ανάπτυξή του. Στην περίπτωση του σιταριού, ο ώριμος καρπός παρέχει θρεπτική τροφή για ανθρώπους και ζώα και αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα ένζυμα στο σιτάρι έχουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του αλεύρου στην αρτοποιία, ειδικά οι αμυλάσες.

Οι αμυλάσες είναι παραδείγματα υδρολασών καθώς καταλύουν την υδρόλυση των πολυσακχαριτών στο άμυλο. Κατά τη διάρκεια της αρτοποιίας, η αμυλάση αντιδρά αργά με τους κατεστραμμένους κόκκους αμύλου, αλλά ταχέως με το ζελατινοποιημένο άμυλο για να παραχθεί ένα μίγμα δεξτρινών, άλλων ολιγοσακχαριτών και μικρών ποσοτήτων μαλτόζης. Τα ιόντα ασβεστίου δρουν ως ενεργοποιητές του ενζύμου, ενώ το φυτικό οξύ, που υπάρχει στο πίτουρο, δρα ως αναστολέας λόγω της αντίδρασής του με ιόντα ασβεστίου. Η άλλη κύρια αμυλάση στο σιτάρι είναι αμυλάση η οποία δρα σε 1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς κοντά στα μη αναγωγικά άκρα των μορίων αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης για την παραγωγή μαλτόζης. Ωστόσο, με την αμυλοπηκτίνη, το ένζυμο μπορεί να επιτύχει μόνο περίπου 60% μετατροπή λόγω των δεσμών 1,6 ενώ το υπόλοιπο υλικό αναφέρεται ως «οριακή» δεξτρίνη. Η ποσότητα μαλτόζης στο αλεύρι είναι ενδεικτική της έκτασης της αντίδρασης της αμυλάσης με το κατεστραμμένο άμυλο. Εκτός από τις αμυλάσες, οι 1,4 και 1,6-D-γλυκοζιδάσες, είναι ικανές να υδρολύουν -1,4 και 1,6 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Άλλες αμυλάσες και πεντοζανάσες υπάρχουν επίσης σε χαμηλά επίπεδα δραστηριότητας.

Οι πρωτεάσες απαντώνται στους ακέραιους καρπούς των δημητριακών. Στο σιτάρι, το ενδοσπέρμιο περιέχει πολύ μικρή πρωτεολυτική δραστηριότητα, με το στρώμα της αλευρόνης, το περικάρπιο και το φύτρο να είναι οι κύριες πηγές. Τα

επίπεδα δραστηριότητας αυξάνονται γρήγορα στη βλάστηση. Μικρές ποσότητες μυκητιακών πρωτεασών μπορούν να προστεθούν σε ισχυρά αλεύρια για να μειωθούν οι χρόνοι ανάμιξης και να βελτιωθεί η εκτασιμότητα του ζυμαριού.

Οι κυττάσες είναι ένζυμα τα οποία δρουν σε διάφορα σύμπλοκα γλυκανών, πεντοζανών και πολυσακχαριτών σε κυτταρικά τοιχώματα και κόκκους αμύλου και ανήκουν στην οικογένεια ενδο- και εξω-γλυκανών και πεντοζανασών. Είναι σημαντικές στις διεργασίες βύνης επειδή, αντιδρώντας στα κυτταρικά τοιχώματα, επιτρέπουν την είσοδο αμυλασών και πρωτεασών για την υδρόλυση αμύλου και πρωτεϊνών.

Οι λιπάσες υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες στο φύτρο σιταριού. Αυτές είναι παραδείγματα εστερασών που υδρολύουν ομάδες εστέρα, ιδιαίτερα εκείνες των γλυκεριδίων που είναι κοινές στα λιπίδια. Η δράση τους συνδέεται με τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οποία σε μεγάλες περιεκτικότητες προσδίδουν σαπωνοειδή γεύση στα προϊόντα.

Οι φωσφατάσες είναι άλλες εστεράσες που ανήκουν στην οικογένεια των υδρολάσεων που υδρολύουν τους φωσφορικούς εστέρες. Στο σιτάρι, ένα σημαντικό παράδειγμα είναι η φυτάση, η οποία ενεργεί με φυτικό οξύ (εξωφωσφορικό οξύ ινοσιτόλης), και είναι παρούσα σε υψηλές ποσότητες σε πίτουρα. Η φυτάση είναι έτσι ικανή να μειώσει τα επίπεδα του φυτικού οξέος, εξουδετερώνοντας έτσι την συμπλοκοποίηση πολύτιμων μεταλλικών στοιχείων όπως το ασβέστιο, ο ψευδάργυρος και ο σίδηρος με φυτικό οξύ (Cornell,2003).

#### *2.3.6. Χρωστικές ουσίες*

Ολόκληρος ο σίτος περιέχει σημαντικές ποσότητες χρωστικών όπως ξανθοφύλλη. Τα σιτηρά διαφορετικής προέλευσης και ποικιλίας που αναπτύσσονται υπό διαφορετικές συνθήκες παρουσιάζουν διαφορετικές ποσότητες χρωστικών, αλλά αναμένεται να περιέχουν περίπου 1,5ppm ξανθοφύλλη και εστέρες της και πάνω από 2ppm φλαβόνες. Οι ξανθοφύλλες βρίσκονται στην υψηλότερη συγκέντρωσή τους στο φύτρο. Η ξανθοφύλλη είναι διυδροξυ-καροτένιο. Τα καροτενοειδή είναι μέλη μίας κατηγορίας υδρογονανθράκων (καροτίνη) και τα οξυγονούχα παράγωγά τους (ξανθοφύλλη) αποτελούνται από οκτώ μονάδες ισοπρενοειδούς. Η λουτεΐνη είναι μία ξανθοφυλλική χρωστική ουσία που είναι άφθονη στο σιτάρι και είναι επίσης παρούσα σε μορφή εστέρων της. Οι φλαβόνες είναι σχεδόν αδιάλυτες στο νερό. Διαλύτες που περιέχουν η-εξάνιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέτρηση της απορρόφησης στα 447 nm, η οποία είναι πιο χαρακτηριστική των ξανθοφυλλών. Είναι παρούσες κυρίως στα πίτουρα και έχουν χρώμα κίτρινο έως καφέ. Το καροτένιο (προβιταμίνη Α) οξειδώνεται εύκολα από

τους λευκαντικούς παράγοντες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία άλεσης. Ωστόσο, το αλεύρι δεν αποτελεί σημαντική πηγή βιταμίνης Α (Cornell, 2003).

### 2.3.7. Άλεση - Παραγωγή αλεύρου

Η άλεση του αλεύρου είναι η συνεχής διαδικασία με την οποία ο ακατέργαστος σίτος μετατρέπεται σε μορφή που είναι χρήσιμη στις βιομηχανίες αρτοποιίας και στον καταναλωτή. Ένα μικρό μέρος της παραγωγής είναι προσανατολισμένο προς άλευρα ολικής άλεσης, χρησιμοποιώντας ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής επεξεργασίας, αλλά η μεγαλύτερη ζήτηση και προσπάθεια κατευθύνεται προς την παραγωγή λευκού αλεύρου. Το τελικό προϊόν της άλεσης σίτου είναι το λευκό αλεύρι. Ο σκοπός του άλεσης λευκού αλεύρου είναι να προκύψει μια μέγιστη ποσότητα ενδοσπέρμιου από το σίτο σε όσο το δυνατόν καθαρότερη μορφή. Τα εξωτερικά στρώματα πίτουρου γίνονται το συν-προϊόν της διαδικασίας που ονομάζεται τροφοδοσία σιταριού. Πολλές λειτουργίες διαχωρίζουν επίσης το φύτρο (germ). Πρόκειται για μία συμπαραγωγή υψηλής αξίας. Όταν δεν υπάρχει αγορά για το φύτρο, πωλείται για ζωοτροφή με το πίτουρο σιταριού (Webb, Owens, 2001).

Ο οικονομικός διαχωρισμός του αμυλούχου ενδοσπέρμιου από το υπόλοιπο αποτελεί ένα από τα κλειδιά για την επιτυχία μίας λειτουργίας άλεσης αλεύρου. Η διαδικασία αυτή εξελίχθηκε σε πολύ συγκεκριμένες γραμμές για την επίτευξη αυτού του στόχου. Ο τρόπος με τον οποίο παράγεται το αλεύρι παγκοσμίως είναι ένας και είναι γνωστός ως σύστημα σταδιακής μείωσης. Το σύστημα σταδιακής μείωσης έχει επιτρέψει την παραγωγή αλεύρων χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα και υψηλής απόδοσης. Ειδικά αλεύρια υψηλής ποιότητας παράγονται με την εξαγωγή υποπροϊόντων υψηλής καθαρότητας από τη διαδικασία. Υπάρχουν τρία κύρια στάδια στη διαδικασία. Οι διαδικασίες αυτές είναι γνωστές ως το σύστημα θραύσης, το σύστημα καθαρισμού και το σύστημα μείωσης. Το σύστημα καθαρισμού δεν υπάρχει σε όλες τις διεργασίες. Συχνά, μπορεί να αντικατασταθεί από αυτό που είναι γνωστό ως σύστημα ταξινόμησης. Ωστόσο, τα άλλα δύο είναι παρόντα σε όλους τους αλευρόμυλους βαθμιαίας μείωσης που λειτουργούν σήμερα.

Προτού το σιτάρι φτάσει στο πρώτο στάδιο άλεσης, είναι απαραίτητο να υποβληθεί σε αρκετές προκαταρκτικές εργασίες προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή απόδοση της κύριας διαδικασίας. Το πρώτο από αυτά τα στάδια είναι ο καθαρισμός του σιταριού. Οι κόκκοι, που έχουν ληφθεί στο αλεύρι, αναλύονται και αποθηκεύονται σε σιλό και διαχωρίζονται από τυχόν ρύπους πριν από την προετοιμασία για άλεση. Οι μολυσματικές ουσίες που αφαιρούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθαρισμού μπορεί να περιλαμβάνουν καμένα, ανώριμα, σπασμένα ή συρρικνωμένα σπόρια, άλλους σπόρους, άμμο, άχυρο και πέτρες. Οι

περισσότερες από αυτές τις προσμίξεις είναι δυνατόν να διαχωριστούν με απλή κοσκίνιση για να αφαιρεθούν μικρά και μεγάλα υλικά, αναδευόμενο κοσκίνισμα για να αφαιρεθούν τα ελαφρύτερα υλικά και το κοσκίνισμα σε κεκλιμένες επιφάνειες για να διαχωριστούν πυκνά υλικά όπως και πέτρες. Στα συστήματα με αναρρόφηση, το σιτάρι υποβάλλεται σε ισχυρά ρεύματα αέρα τα οποία αφαιρούν τις ελαφρύτερες προσμίξεις, ενώ με τα κεκλιμένα συστήματα, λαμβάνεται το πλεονέκτημα της επίδρασης της βαρύτητας σε ξεχωριστά πυκνά άθικτα υλικά, καθώς αυτά αναταράσσονται κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου.

Οι διαχωριστές δίσκων χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση προσμίξεων παρόμοιου μεγέθους και διατομής με τους σπόρους σιταριού, όπως η βρώμη, το κριθάρι και άλλοι σπόροι. Οι δίσκοι έχουν μικρά θυλάκια και στις δύο πλευρές και περιστρέφονται εν μέρει βυθισμένοι στους κόκκους, συλλέγοντας σωματίδια αρκετά μικρά για να εισέλθουν στις θήκες και να τα εκφορτώσουν σε κοιλότητες μεταξύ των δίσκων στην προς τα κάτω πλευρά. Στη συνέχεια, η απομάκρυνση προσμίξεων πραγματοποιείται από ένα σύστημα αποτελούμενο από μία σταθερή κυλινδρική επιφάνεια ή διάτρητο πλέγμα και μερικές περιστρεφόμενες επιφάνειες.

Μετά τον καθαρισμό, το σιτάρι μετριέται (ή υπόκειται σε επεξεργασία) πριν αλεσθεί. Η σκλήρυνση είναι ένα από τα πιο σημαντικά μέρη της διαδικασίας άλεσης του αλευριού. Σε αυτό το στάδιο, η περιεκτικότητα σε υγρασία των κόκκων αυξάνεται προσθέτοντας νερό και επιτρέποντας στον κόκκο να καθίσει για ένα χρονικό διάστημα. Αυτή η διαδικασία σκληραίνει τον πυρήνα και εμποδίζει το σχηματισμό σκόνης πίτουρου κατά την άλεση, απλοποιώντας έτσι το φυσικό διαχωρισμό του ενδοσπέρμιου από το πίτουρο. Η σκλήρυνση επηρεάζει επίσης τον τρόπο με τον οποίο θραύονται τα σωματίδια ενδοσπέρμιου στα επόμενα βήματα άλεσης και την έκταση της μηχανικής βλάβης αμύλου που επιτυγχάνεται. Ωστόσο, εάν το σιτάρι υπερβραχύνει, το κοσκίνισμα γίνεται δύσκολο και η χωρητικότητα του μύλου μειώνεται αμέσως. Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού εξαρτάται τόσο από την υπάρχουσα περιεκτικότητα σε υγρασία του σίτου όσο και από τη σκληρότητα του κόκκου. Το σκληρό σιτάρι μετριέται σε υγρασία 16,5%, ενώ το μαλακό σιτάρι συνήθως μετριέται σε υγρασία 15 με 15,5%. Ο σκληρός σίτος σκληρύνεται σε υψηλότερο επίπεδο υγρασίας (Webb, Owens, 2001).

#### *2.3.7.1. Το σύστημα θραύσης*

Αφού ολοκληρωθεί το προηγούμενο στάδιο, το σιτάρι είναι τώρα έτοιμο να περάσει στους πρώτους κυλίνδρους θραύσης για άλεση. Το σύστημα θραύσης είναι η περιοχή της διαδικασίας όπου επιτυγχάνεται ο μεγαλύτερος διαχωρισμός ενδοσπέρμιου. Αυτή η εργασία εκτελείται κυρίως σε κυλίνδρους των οποίων οι επιφάνειες έχουν προφίλ δοντιών πριονιού. Οι κύλινδροι κινούνται με διαφορετικές



ταχύτητες ο ένας προς τον άλλο. Ο συνδυασμός αυτών των δύο χαρακτηριστικών σε λειτουργία σημαίνει ότι κατά την πρώτη επαφή με το φύτρο σίτου ο σπόρος είναι ανοιχτός και αφαιρείται μια σημαντική ποσότητα υλικού που μετά το κοσκίνισμα θα φτάσει στα συστήματα καθαρισμού. Μία μικρή ποσότητα αλεύρου παράγεται επίσης σε αυτό το στάδιο και απομακρύνεται πριν από την περαιτέρω επεξεργασία. Το ακατέργαστο υλικό ενδοσπερμίου που παράγεται αναφέρεται ως σιμιγδάλι και πρέπει να μειωθεί περαιτέρω. Το υλικό που παραμένει στο σύστημα θραύσης μετά την πρώτη επαφή παρουσιάζεται σε ένα δεύτερο σετ κυλίνδρων (δεύτερο σπάσιμο) για περαιτέρω άλεση. Και πάλι, το υλικό απελευθερώνεται στα συστήματα καθαρισμού μαζί με μια μικρή ποσότητα παραγωγής αλεύρου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται τέσσερις ή πέντε φορές μέχρις ότου θεωρείται ότι δεν αξίζει επιπλέον προσπάθεια να απελευθερωθεί περαιτέρω υλικό (λόγω των μειωμένων αποδόσεων τόσο από την ποσότητα όσο και από την ποιότητα του απελευθερούμενου υλικού). Σε αυτό το σημείο το υπόλοιπο υλικό απορρίπτεται στο ρεύμα τροφοδοσίας σιταριού, το κύριο παραπροϊόν της άλεσης αλευριού. Η ποσότητα του υλικού που απελευθερώνεται σε κάθε δίοδο σπασίματος περιορίζεται με τη ρύθμιση του διάκενου μεταξύ των κυλίνδρων. Ο όρος "απελευθέρωση θραύσης" χρησιμοποιείται συχνά και αντιπροσωπεύει το ποσοστό του υλικού που απελευθερώνεται σε κάθε συγκεκριμένο πέρασμα σπασίματος. Ο στόχος του συστήματος θραύσης είναι να επιτευχθεί μέγιστη απελευθέρωση σωματιδίων ενδοσπερμίου με ελάχιστη αποσύνθεση του πίτουρου (Webb, Owens, 2001).

#### *2.3.7.2. Το σύστημα καθαρισμού*

Το σύστημα καθαρισμού αποτελείται από τρεις τύπους μηχανών, καθαριστές, μύλους κυλίνδρων και κοσκινιστές. Τα καθαριστικά είναι μηχανές που διαχωρίζουν τα σωματίδια με βάση τη διαφορά μεγέθους, αντοχής αέρα και σωματικού βάρους, ταυτόχρονα. Ο καθαριστής είναι ουσιαστικά ένα κεκλιμένο κόσκινο που γίνεται πιο χοντρό από την κεφαλή στην ουρά, το οποίο ταλαντεύεται και μέσω του οποίου το ρεύμα αέρα περνά προς τα πάνω. Τα βαρύτερα σωματίδια ενδοσπερμίου παραμένουν στο κόσκινο μέχρι να φτάσουν αρκετά μεγάλα ανοίγματα για να πέσουν, ενώ τα ρεύματα αέρα ανασηκώνουν το ελαφρύτερο υλικό του αλεύρου και το μεταφέρουν έξω από το σύστημα (Webb, Owens, 2001).



#### *2.3.7.3. Το σύστημα μείωσης μεγέθους*

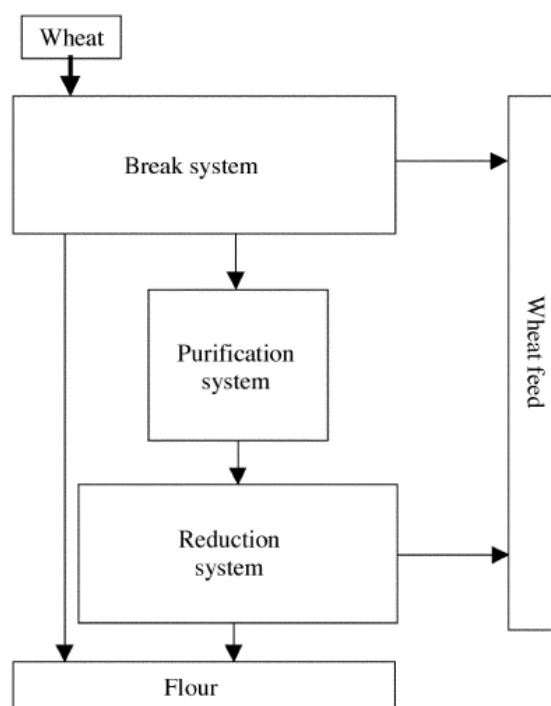
Το σύστημα μείωσης είναι το κύριο μέρος της διαδικασίας που παράγει αλεύρι. Είναι επίσης η περιοχή όπου χειρίζεται άλλη επιθυμητή ιδιότητα στο αλεύρι. Η μηχανική καταστροφή αμύλου προκαλείται προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα απορρόφησης νερού του αλεύρου, πράγμα που με τη σειρά του βελτιώνει την απόδοση του ψωμιού. Το σύστημα μείωσης αποτελείται από μια σειρά με κυλίνδρους και κόσκινα. Το υλικό μεταφέρεται από τα τεμάχια διάσπασης και καθαρισμού στους μύλους κυλίνδρων κυρίως για τη μείωση του μεγέθους, αν και η συσκευή κοσκινίσματος απομακρύνει επίσης μερικές εναπομένουσες προσμίξεις. Οι κύλινδροι που χρησιμοποιούνται στο σύστημα μείωσης διαφέρουν από εκείνους που χρησιμοποιούνται στα άλλα τεμάχια κατά το ότι συνήθως είναι λείοι και λειτουργούν σε χαμηλότερες και διαφορετικές ταχύτητες. Το υλικό που δεν έχει μειωθεί επαρκώς σε μέγεθος σε ένα συγκεκριμένο πέρασμα λείανσης κοσκινίζεται και επαναφέρεται στο επόμενο στάδιο άλεσης. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι και 11 φορές σε αυτούς που ονομάζονται μεγάλης επιφάνειας μύλοι. Οι τάσεις διάτμησης εφαρμόζονται λόγω των διαφορετικών ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται από τους κυλίνδρους άλεσης. Ο μηχανικός σύνδεσμος που στηρίζει τους κυλίνδρους λείανσης εφαρμόζει πίεση στα σωματίδια (Webb, Owens, 2001).

#### *2.3.7.4. Απελευθέρωση αλεύρου*

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του αλεύρου. Κάθε υλικό που περνά μέσα από τα καλύτερα κόσκινα είναι, εξ ορισμού, αλεύρι. Όλα τα άλλα υλικά επιστρέφονται στο κατάλληλο σημείο του συστήματος για περαιτέρω επεξεργασία. Το αλεύρι παράγεται σε κάθε στάδιο, αν και η ποιότητα που λαμβάνεται από τα στάδια θραύσης μπορεί να διαφέρει από εκείνη που παράγεται στα στάδια μείωσης (λόγω μόλυνσης με λεπτά σωματίδια πίτουρου). Το αποτέλεσμα των επαναληπτικών εργασιών λείανσης και κοσκινίσματος που περιγράφηκαν παραπάνω είναι η αθροιστική απελευθέρωση ενδοσπέρμιου από το σίτο, ακολουθούμενη από την απελευθέρωση αλεύρου από αυτό το υλικό. Οι πραγματικές ποσότητες που απελευθερώνονται σε κάθε στάδιο ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ συγκεκριμένων παραδειγμάτων μύλων.

Η σύσταση του αλεύρου επηρεάζεται από το βαθμό άλεσης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σοβαρή μείωση των ανόργανων συστατικών, καθώς μόνο το 30% του ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου και φωσφόρου παραμένει σε άλευρο άλεσης 66%, ενώ η συγκέντρωση του ασβεστίου μειώνεται κατά 50%. Τέλος, σε μεγάλο βαθμό μειώνονται και βιταμίνες όπως η νιασίνη και η θειαμίνη (Λεμπέση, 2012). Το φρεσκο-αλεσμένο αλεύρι δεν είναι κατάλληλο για αρτοποιήση, επειδή η γλουτένη

που περιέχει είναι σχετικά αδύναμη και με μικρή ελαστικότητα, ενώ το χρώμα του μπορεί να είναι κίτρινο. Μετά την άλεση, το αλεύρι, συνήθως, υπόκειται σε επιπρόσθετες διεργασίες, όπως λεύκανση και ωρίμανση. Το χρώμα του αλεύρου γίνεται πιο ανοιχτόχρωμο και πιο λευκό με το πέρασμα του χρόνου, λόγω της οξειδωσης που λαμβάνει χώρα. Για τον ίδιο λόγο το αλεύρι ωριμάζει με τον καιρό, και έτσι αλλάζουν η εμφάνιση και οι ιδιότητές του. Παρόλα αυτά, οι διαδικασίες αυτές είναι χρονοβόρες, και προκειμένου να επιταχυνθούν, γίνεται λεύκανση με διάφορες χημικές ουσίες. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί από τη νομοθεσία αναφορικά με την περιεκτικότητα των ουσιών αυτών στα άλευρα (Hui, 2006).



Εικόνα 2.3. διάγραμμα ροής της διαδικασίας άλεσης άλευρου

### 2.3.8. Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρου

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του αλεύρου πριν από την επεξεργασία του σίτου περιλαμβάνουν την ποικιλία σίτου, την παρουσία ξένων προσμίξεων, τις συνθήκες ξήρανσης και αποθήκευσης πριν από τα στάδια επεξεργασίας και συσκευασίας. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του αλεύρου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας περιλαμβάνουν το χρησιμοποιούμενο διάγραμμα ροής, την κατάσταση του εξοπλισμού επεξεργασίας, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα διαχωριζόμενα αλεύρια.

Η ικανότητα απορρόφησης νερού είναι βασική παράμετρος στην αγορά αλεύρου για την παρασκευή αρτοποιημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι συνδέεται άμεσα με την απόδοση του ψωμιού. Η απορρόφηση του νερού επηρεάζεται από την ποικιλία σίτου στο χοντρόκοκκο, αλλά και από την ποσότητα και τον τύπο λείανσης που εκτελείται κατά την άλεση. Η απορρόφηση νερού στο αλεύρι χειρίζεται με διακοπή των κοκκίων αμύλου που σχηματίζουν το ενδοσπέρμιο του σιταριού.

Η περιεκτικότητα του αλεύρου σε χρώματα και τέφρες αντικατοπτρίζει την ποσότητα του περιεχόμενου πίτουρου. Αυτή η σκόνη πίτουρου είναι το τμήμα των εξωτερικών στρωμάτων του σίτου που έχει αλεσθεί με τη διαδικασία άλεσης σε σωματίδια μεγέθους αλεύρου. Γενικά, το υλικό αυτό θεωρείται ανεπιθύμητο στο αλεύρι και θεωρείται ως μόλυνση. Είναι, ωστόσο, αδύνατο να παραχθεί αλεύρι χωρίς καμία μόλυνση, οπότε ο στόχος είναι απλώς να διατηρηθεί στο ελάχιστο. Τα αποδεκτά επίπεδα καθορίζονται μέσω της εμπειρίας που μπορεί να ανεχθεί ο πελάτης του αρτοποιού (Webb, Owens, 2001).

## 2.4. Μαγιά αρτοποιίας

Οι ζύμες είναι μύκητες που αναπτύσσονται με φυτικό τρόπο ως μονοκύτταροι οργανισμοί. Η διάκριση μεταξύ ζυμών και άλλων μυκήτων είναι μερικές φορές δύσκολη. Οι μύκητες κατά τη διάρκεια ενός μέρους του κύκλου ζωής τους αναπτύσσονται ως μεμονωμένα κύτταρα και ως μύκητες τύπου μούχλας κατά τη διάρκεια άλλων μερών. Όλες οι ζύμες αναπτύσσονται με φυτικό τρόπο με εκκολαπτόμενο ή με δυαδική σχάση. Οι ασκομύκητες διακρίνονται από το γεγονός ότι κατά την αναπαραγωγή, τα σπόρια παράγονται μέσα σε μια εξειδικευμένη δομή γνωστή ως ασκός, ενώ οι ζυμομύκητες βασιδιομύκητες παράγουν εξωτερικά σπόρια σε μια δομή γνωστή ως βασίδιο. Παρόλο που ένας τρόπος ζύμης έχει υιοθετηθεί από μέλη των τριών από τις τέσσερις βασικές μυκητιακές ομάδες (Basidiomycetes, Ascomycetes, και Fungi ατελής, αλλά όχι Phycomycetes), οι περισσότερες ζύμες που ενδιαφέρουν τη βιομηχανία αρτοποιίας είναι βιολογικά μέλη του ασκομυκητιακού γένους *Saccharomyces*. Ωστόσο, επειδή η ταξινόμηση των μυκήτων εξαρτάται από την αναγνώριση των αναπαραγωγικών δομών, οι ζύμες που έχουν χάσει την ικανότητα για αναπαραγωγή ταξινομούνται αυτόματα μεταξύ των ατελειών του Fungi.

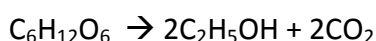
Οι ζύμες είναι ευκαρυωτικοί οργανισμοί. Έτσι, το εσωτερικό ενός κυττάρου ζυμομυκήτων χωρίζεται σε διαμερίσματα με εξειδικευμένες λειτουργίες: τον πυρήνα, ο οποίος περιέχει τα χρωμοσώματα και τα ένζυμα που απαιτούνται για την

αντιγραφή των γενετικών πληροφοριών που απαιτούνται για τη σύνθεση πρωτεϊνών, το μιτοχόνδριο, όπου συμβαίνει η αναπνοή, ένα κενοτόπιο, που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των θρεπτικών ουσιών και την αποικοδόμηση των μη αναγκαίων πρωτεϊνών, κυστίδια μεμβράνης όπου οι πρωτεΐνες τροποποιούνται και στοχεύονται σε συγκεκριμένες κυτταρικές θέσεις και ούτω καθεξής.

Οι ζύμες *Saccharomyces* έχουν καλλιεργηθεί από ανθρώπους για χιλιάδες χρόνια: η παραγωγή κρασιού χρονολογείται από το 5400-5000 π.Χ. και οι ζυμώσεις ζυθοποιίας έχουν βρεθεί σε αιγυπτιακά υπολείμματα μύρας και ψωμί που φτιάχτηκε γύρω στο 1000 π.Χ. Με την πάροδο του χρόνου, το *Saccharomyces cerevisiae* εξελίχθηκε σε είδος αρκετά διαφορετικό από τους σύγχρονους συγγενείς του και έχει εξειδικευτεί στην ταχεία παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και αιθανόλης από σάκχαρα. Η στενότερη σχέση του είναι ίσως ο *S. paradoxus*, μία ζύμη που απομονώνεται από δρεϊς ή έδαφος. Οι αρχαίοι επιστήμονες ψωμιού πιθανότατα βασιζόνταν σε αυθόρμητες ζυμώσεις για να ζυμώνουν τις ζύμες τους (Maloney, Foy, 2003).

Ιστορικά, πολλά διαφορετικά είδη ζυμομυκήτων *Saccharomyces* καθορίστηκαν με βάση τις διαφορές στην ικανότητά τους να ζυμώνουν υδατάνθρακες. Τέτοια κριτήρια ήταν παραδοσιακά χρήσιμα για τη διάκριση μεταξύ ειδών βακτηρίων και μυκήτων που διαφορετικά ήταν πολύ παρόμοια. Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις κατέστησαν δυνατή την κατάταξη ειδών ζύμης με βάση πιο αξιόπιστα κριτήρια, όπως η ικανότητα οπτικής απεικόνισης χρωμοσωμάτων ζύμης απευθείας σε ηλεκτροφορητικές πηκτές ή συγκρίσεων αλληλουχιών DNA. Αυτές οι αναλύσεις επιτρέπουν να ομαδοποιηθούν οι ζύμες ζυθοποιίας και οι ζύμες κρασιού ως ένα είδος. Εξίσου σημαντικό, καθιστούν πιο εύκολη την αναγνώριση των ζυμών που ανήκουν σε άλλα είδη. Πιο συγκεκριμένα, όμως, η αρτοποιία, η ζυθοποιία και η οινολογία χρησιμοποιούν ζύμες που ανήκουν στο βιολογικό είδος *S. cerevisiae*. Σε αυτό το είδος, οι διαφορές στη χρήση υδατανθράκων εξαρτώνται από μικρές γενετικές διαφορές και όλες οι ζύμες υβριδοποιούνται εύκολα. Παρ'όλα αυτά, σημαντικές διαφορές στο ρυθμό ζύμωσης και στα χημικά αρώματα μπορούν να βρεθούν σε διαφορετικά στελέχη.

Η ζύμη παράγει αέριο διοξείδιο του άνθρακα στο ψωμί με τη ζύμωση των σακχάρων που υπάρχουν στα συστατικά ή στη σύνθεση. Η βασική αντίδραση αντιπροσωπεύεται με τον ακόλουθο τρόπο:



Γλυκόζη  $\rightarrow$  αιθυλική αλκοόλη + διοξείδιο του άνθρακα

Συγκεκριμένα, η ζύμωση αποδίδει την παραγωγή αιθυλικής αλκοόλης σε αναερόβιες συνθήκες. Η διαδικασία ζύμωσης δεν απαιτεί την παρουσία οξυγόνου (Cauvain, Young, 2001).

Το κύτταρο ζύμης περιέχει μεγάλο αριθμό ενζύμων που απαιτούνται για τη ζύμωση και την αναπνοή. Αυτά τα ένζυμα κρατούνται εντός του κυττάρου, με την προϋπόθεση ότι το κυτταρικό τοίχωμα παραμένει άθικτο. Περίπου 14 διαφορετικά ένζυμα εμπλέκονται στη διαδικασία ζύμωσης. Η ζύμη ζυμώνει πρώτα τα φυσικώς απαντώμενα σάκχαρα στο αλεύρι (γλυκόζη και σακχαρόζη). Καθώς αυτά εξαντλούνται, το σύμπλεγμα ενζύμου αρχίζει να παρέχει περισσότερα σάκχαρα διασπώντας άλλα συστατικά του αλεύρου. Το κατεστραμμένο άμυλο είναι σημαντικό σε αυτό το πλαίσιο λόγω της μετατροπής του τελικά σε μαλτόζη. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντική η ενζυμική δραστηριότητα και τα επίπεδα αμύλου στο αλεύρι που χρησιμοποιείται. Εάν δεν είναι δυνατή η χρήση ενός υποστρώματος (τρόφιμο) για τη ζύμη, η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα θα σταματήσει.

Η ζύμη των αρτοποιητικών (Saccharomyces cerevisiae) έρχεται σε διάφορες μορφές. Η συμπιεσμένη ζύμη περιλαμβάνει περίπου  $28 \pm 30\%$  ξηρή ύλη. Η ζύμη παράγει αέριο διοξείδιο του άνθρακα για να επεκτείνει το ζυμάρι στα διάφορα στάδια επεξεργασίας του, ιδιαίτερα κατά τα πρώτα στάδια του ψήσιματος (Cauvain, Young, 2001).

#### *2.4.1. Πεπιεσμένη μαγιά*

Το αιώρημα της μαγιάς, φιλτράρεται και εξωθείται (extruded), ώστε να σχηματίσει πεπιεσμένη μαγιά που να περιέχει υγρασία σε ποσοστό 69 με 70%. Σε ξηρή βάση, θα περιέχει 50 με 60% πρωτεΐνες, 4 με 5% λιπαρά, 2,8 με 3% φωσφόρο και 6 με 8% τέφρα. Επίσης είναι πιθανό να υπάρχουν μικροποσότητες γαλακτωματοποιητών. Όταν η μαγιά αποθηκεύεται σε θερμοκρασία  $5,5^{\circ}\text{C}$ , η δραστηριότητά της μειώνεται κατά 10% της σε 4 εβδομάδες. Σε θερμοκρασίες αποθήκευσης υψηλότερες των  $5,5^{\circ}\text{C}$ , η διογκωτική της ικανότητα χάνεται άμεσα και αναπτύσσονται δυσάρεστες οσμές. Πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου. Η μαγιά σε εντελώς αδρανή μορφή μπορεί να ψυχθεί χωρίς σημαντικές απώλειες δραστηριότητας. Εάν όμως η μαγιά είναι ενεργή κατά τη διάρκεια της ψύξης, μερικά από τα κύτταρα μπορεί να νεκρωθούν, προφανώς λόγω της παρουσίας της αιθυλικής αλκοόλης. Για το λόγο αυτό, συνιστάται ο χρόνος ζύμωσης για ζυμάρια που πρόκειται να ψυχθούν να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Για τη χρήση σε ζυμάρια υπό κατάψυξη, που πρόκειται να αποψυχθούν και να αφεθούν για ζύμωση πριν το ψήσιμο, έχουν αναπτυχθεί ειδικά ανθεκτικά στελέχη του S.

Cerevisiae τα οποία διατηρούν καλή διογκωτική ικανότητα ακόμη και μετά από κατάψυξη.

#### 2.4.2. *Ενεργή ξηρή μαγιά (Active dry yeast)*

Η ενεργή ξηρή μαγιά εμφανίζεται με διάφορους τύπους (active dry yeast, ADY). Οι περισσότεροι από αυτούς παρασκευάζονται από στελέχη που έχουν επιλεγθεί να είναι ανθεκτικά στην αφυδάτωση. Οι πιο κοινοί τύποι αφυδατώνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι να φτάσουν σε περιεχόμενη υγρασία 7,5 με 8,5%, αλλιώς η σύνθεση είναι παρόμοια με αυτή την πεπιεσμένης μαγιάς. Η ενεργή ξηρή μαγιά είναι δυνατό να παραχθεί υπό μορφή μικρών λεπτών λωρίδων, σφαιριδίων ή κόκκων και συνήθως συσκευάζεται σε πλαστικά κουτιά ή σακουλάκια. Το 1% της δραστηρότητάς της περίπου χάνεται ανά μήνα σε θερμοκρασία δωματίου, εάν έχει συσκευαστεί σε ατμόσφαιρα αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα, ενώ αν η συσκευασία είναι υπό ατμόσφαιρα κάποιου αδρανούς αερίου, τότε χάνει αντίστοιχα το 8% περίπου της δραστηρότητάς της ανά μήνα. Η κανονική μαγιά πρέπει να ενυδατώνεται με νερό θερμοκρασίας 40-43°C, ώστε να διατηρείται στο μέγιστο η δραστηρότητά της. Αντίθετα, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση παγωμένου ή ζεστού νερού. Μετά την ενυδάτωση, η μαγιά μπορεί να ψυχθεί ή να θερμανθεί λίγο πάνω από το εύρος της θερμοκρασίας ενυδάτωσης, χωρίς να προκληθεί μεγάλη ζημιά στην ικανότητα ζύμωσης.

#### 2.4.3. *Στιγμαιαία ξηρή μαγιά (Instant dry yeast)*

Σε αντίθεση με την ενεργή, η στιγμιαία ξηρή μαγιά δεν χρειάζεται το στάδιο της ενυδάτωσης, πράγμα που σημαίνει ότι το προϊόν μπορεί να προστεθεί κατευθείαν από τη συσκευασία στον αναμίκτη του ζυμαριού. Η διαφορά αυτή οφείλεται τόσο στα γενετικά χαρακτηριστικά του στελέχους όσο και στη μέθοδο επεξεργασίας. Δεδομένου ότι η γρηγορότερη ξήρανση οδηγεί σε μειωμένη απώλεια της δραστηρότητας, η παραγωγή της στιγμιαίας ξηρής μαγιάς στηρίζεται στην ταχεία ξήρανση μικρών ινών (διαμέτρου 0,4mm) με ροή αέρα θερμοκρασίας 160°C περίπου σε ξηραντήρα ρευστοστερεάς κλίνης. Παρόλο που η θερμοκρασία αυτή φαίνεται πολύ υψηλή, τα κύτταρα της μαγιάς δεν προλαβαίνουν να φτάσουν σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 40°C κατά τη σύντομη (20min) έκθεσή του σε ρεύμα θερμού αέρα. Αυτός ο τύπος μαγιάς εμφανίζει μεγαλύτερη δραστηρότητα σε σύγκριση με την κανονική ξηρή μαγιά και σχεδόν ίδια αποτελεσματικότητα στην παραγωγή αερίου με την πεπιεσμένη μαγιά (συγκρίνοντας επί ξηρής βάσης). Καθώς η στιγμιαία μαγιά έχει περιεκτικότητα υγρασίας μικρότερη από 5%, μπορεί να απορροφήσει νερό από τον αέρα υπό κανονικές συνθήκες σχετικής υγρασίας. Αυτή η μερική ενυδάτωση μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση και μειωμένη παραγωγή

αερίου. Επίσης, η παρατεταμένη επαφή της με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας περιορίζει το χρόνο ζωής της. Συνεπώς, η συσκευασία της σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιεί το ρυθμό μεταφοράς αερίων.

#### 2.4.4. Μαγιά για κατεψυγμένα ζυμάρια

Ο τύπος μαγιάς που έχει αναπτυχθεί για ζυμάρια που προορίζονται για κατάψυξη, αποψύχονται και ζυμώνονται ακριβώς πριν το ψήσιμο, περιέχει 25% υγρασία. Ένα συγκεκριμένο στέλεχος του *S. cerevisiae* αφυδατώνεται υπό ήπιες συνθήκες μέχρι όλο το μη δεσμευμένο νερό να απομακρυνθεί. Απαιτείται αποθήκευση υπό κατάψυξη, αλλά έτσι δεν σχηματίζονται κρύσταλλοι πάγου στα κύτταρα. Η μαγιά είναι συσκευασμένη υπό κενό. Στα αρχικά στάδια του ζυμαριού, η μορφή αυτή της μαγιάς είναι λιγότερο ενεργή από την πεπεισμένη μαγιά. Πρέπει να προστίθεται στην κατεψυγμένη της μορφή στο ζυμάρι, ώστε να αυξάνεται η λανθάνουσα φάση, καθώς ένα ξεχωριστό στάδιο επανασύστασης (reconstitution) δεν είναι επιθυμητό. Η αργή εκκίνηση είναι ένα σοβαρό πλεονέκτημα στην προετοιμασία των ζυμαριών για κατάψυξη, καθώς κάθε περίοδος ζύμωσης κατά την ανάμιξη και την προετοιμασία είναι επιβλαβής για την επιβίωση της μαγιάς κατά την ψύξη και την αποθήκευση (Matz, 1989).

## 2.5. Άλλα υλικά αρτοποιήσης

### 2.5.1. Νερό

Όταν το αλεύρο σιταριού αναμιχθεί με νερό για να προετοιμάσει ένα ζυμάρι, το σύστημα υφίσταται καταπληκτικές μακροσκοπικές αλλαγές: η σκόνη αλεύρου σχηματίζει μία φαινομενικά ομοιογενή κολλώδη υγρή πάστα η οποία, με κατάλληλο ζύμωμα, απορροφά την υπολειμματική σκόνη αλεύρου και σιγά-σιγά μετατρέπεται σε ζυμάρι. Αυτοί οι μετασχηματισμοί πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και μπορούν να παρακολουθούνται ικανοποιητικά με ένα πρότυπο φαρινογράφημα (Schiraldi, Fessas, 2003).

Η προσθήκη του νερού στο αλεύρι κατά τη διάρκεια της αρτοποιήσης αποσκοπεί στις παρακάτω βασικές λειτουργίες: διαλυτοποίηση των υδατοδιαλυτών μορίων, ενεργοποίηση των ενζύμων, ανάπτυξη νέων δεσμών μεταξύ των μακρομορίων του αλεύρου και μεταβολή των ρεολογικών ιδιοτήτων του ζυμαριού.

Υπάρχει σαφώς μια βέλτιστη στάθμη νερού για καθένα από τα αλεύρια που χρησιμοποιούνται στο ζυμάρι ψωμιού. Αυτό συνήθως καθορίζεται σύμφωνα με το απαιτούμενο ιξώδες ζυμαριού και άλλες ρεολογικές ιδιότητες που αποδίδουν τις

«σωστές» ιδιότητες του προϊόντος. Τα βέλτιστα επίπεδα νερού του ζυμαριού ρυθμίζονται από τους αρτοποιούς ανάλογα με την ικανότητά τους να επεξεργάζονται το ζυμάρι στα απαιτούμενα μεγέθη και σχήματα με ελάχιστη προσπάθεια και βλάβη στις ιδιότητες του ζυμαριού. Αν το ζυμάρι έχει πολύ λίγο νερό, θα είναι «άκαμπτο» (δηλ. έχει υψηλό ιξώδες) και θα είναι δύσκολο να αλλάξει το σχήμα του κατά τη διαίρεση και το χειρισμό. Αντίθετα, εάν η προστιθέμενη στάθμη νερού είναι πολύ υψηλή στο ζυμάρι, θα είναι «μαλακό» (δηλ. έχει χαμηλό ιξώδες) και ενώ θα είναι ευκολότερο να αλλάξει το σχήμα του κατά την επεξεργασία, θα χάσει το σχήμα αμέσως μετά από αυτή.

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης το ζυμάρι μαλακώνει καθώς το δίκτυο της γλουτένης χαλαρώνει και όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ζύμωσης, τόσο πιο μαλακό γίνεται το ζυμάρι. Είναι κοινή πρακτική η αντιστάθμιση για την αύξηση του μαλακώματος του ζυμαριού μειώνοντας το επίπεδο προσθήκης νερού στη ζύμη κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Στις διαδικασίες παρασκευής ζυμαριού που δεν έχουν περίοδο ζύμωσης μετά την ανάμιξη και πριν από τη διαίρεση, το ζυμάρι θα έχει πολύ πιο σταθερή συνοχή και έτσι είναι συνηθισμένη πρακτική τα επίπεδα προσθήκης ύδατος με το χρόνο να είναι υψηλότερα από αυτά που παρατηρούνται σε διαδικασίες ζύμωσης.

Τα αποδεκτά επίπεδα προσθήκης νερού στο ζυμάρι κυμαίνονται μεταξύ 40 και 45% (κ.β. επί του ζυμαριού). Σε ποσοστά μικρότερα του 35%, το ζυμάρι εμφανίζει αυξημένη σκληρότητα και υψηλό ιξώδες, είναι δύσκαμπτο και η μορφοποίηση γίνεται αρκετά δυσχερής. Έπειτα, η ψίχα μπορεί να είναι υπερβολικά εύθρυπτη και να μπαγιατεύει πολύ πιο γρήγορα εξαιτίας της μη επιθυμητής ζελατινοποίησης αμύλου κατά τον κλιβανισμό. Το τελικό προϊόν έχει τελικά πολύ μικρότερο όγκο και η οργανοληπτική αποδεκτότητά του είναι περιορισμένη. Αντιθέτως, όταν τα ποσοστά υγρασίας είναι μεγαλύτερα από 50%, το ζυμάρι γίνεται πολύ μαλακό και ρευστό, με αποτέλεσμα να μορφοποιείται πολύ πιο εύκολα χωρίς ωστόσο να μπορεί να διατηρήσει το σχήμα του κατά τη διόγκωση. Κατά την ζελατινοποίηση δεν δεσμεύεται όλο το νερό από το άμυλο, με αποτέλεσμα ένα μέρος του να παραμένει ελεύθερο στο προϊόν. Το νερό αυτό αυξάνει την υγρασία στο τελικό προϊόν με αποτέλεσμα η ψίχα γίνεται υγρή και κολλώδης. Παρά το γεγονός ότι ο όγκος του άρτου θα αυξηθεί κατά τον τρόπο αυτό, τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά θα είναι κατώτερα και θα καταρρέει κατά την κοπή. Η απώλεια υγρασίας κατά τον κλιβανισμό εξαρτάται από το είδος του άρτου, το μέγεθος, το σχήμα και το είδος του κλιβανισμού και είναι της τάξης του 8-24% (Τσιάρας, 1984).

Το άλευρο έχει την ικανότητα να συγκρατεί νερό. Η ικανότητά του αυτή εξαρτάται από τα εξής χαρακτηριστικά: την υγρασία του αλεύρου, το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, το άμυλο, τις πεντοζάνες, τις φυτικές ίνες και την ενζυμική δραστηριότητα. Όσο μικρότερη είναι η περιεχόμενη υγρασία του αλεύρου, τόσο



μεγαλύτερη θα είναι και η απορρόφηση νερού. Αντίθετα, η αύξηση της ποσότητας των πρωτεϊνών συνεπάγεται αυξημένη απορρόφηση νερού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επαφή των αποθηκευτικών πρωτεϊνών με το νερό οδηγεί στο σχηματισμό του πρωτεϊνικού δικτύου της γλουτένης, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη συγκράτηση των αερίων που παράγονται κατά την αρτοποιήση. Η ποσότητα των σπασμένων κόκκων αμύλου είναι πολύ σημαντική διότι συγκρατούν πενταπλάσια ποσότητα νερού από τους κανονικούς και, μάλιστα, με πενταπλάσιο ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των κόκκων αυτών, τόσο αυξάνεται η ικανότητα συγκράτησης νερού του αμύλου. Η απορρόφηση του νερού είναι απαραίτητη για την ζελατινοποίησή του. Τέλος, επειδή οι σπασμένοι κόκκοι του αμύλου μπορεί να προσβληθούν από τις α-αμυλάσες που περιέχονται φυσικά στο άλευρο ή έχουν προστεθεί μετά την άλεση, η ικανότητα συγκράτησης νερού μειώνεται με την αύξηση αυτής της ενζυμικής δραστηριότητας. Επιπροσθέτως, τα άλευρα περιέχουν πεντοζάνες σε ποσοστό 2-3%, οι οποίες απορροφούν περίπου επτά φορές το βάρος τους σε νερό και σχηματίζουν ιξώδη διαλύματα. Συνεπώς, η αύξηση του ποσοστού των πεντοζανών αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού και επηρεάζει τις ιδιότητες ανάμιξης και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού. Οι ίνες που μεταφέρονται από το σίτο στο άλευρο (κυρίως στα άλευρα ολικής άλεσης) δεσμεύουν επίσης ορισμένη ποσότητα νερού, αλλά με πιο αργό ρυθμό από τα υπόλοιπα συστατικά. Συνεπώς, άλευρα με υψηλότερο περιεχόμενο ινών εμφανίζουν αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού.

Εξίσου σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία του νερού, η οποία επηρεάζει τη θερμοκρασία του ζυμαριού και κατά τη συνέπεια την ανάπτυξη του ζυμαριού, αφού τα φαινόμενα οξειδωσης ευνοούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ακόμα, η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την ενζυμική δραστηριότητα του αλεύρου και τη δράση της μαγιάς, οι οποίες είναι εντονότερες σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Άλλες ιδιότητες που επηρεάζονται είναι η συνοχή και η ρεολογία του ζυμαριού. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τόσο απαλότερο και λιγότερο ανθεκτικό γίνεται το ζυμάρι. Τέλος, επηρεάζεται και ο χρόνος ζύμωσης, ο οποίος αυξάνεται όσο η θερμοκρασία χαμηλώνει (Cauvain & Young, 2000; Fessas & Schiraldi, 2001).

Οι ιδιότητες του ζυμαριού είναι ποικίλες και εξαρτώνται από το επίπεδο του προστιθέμενου νερού. Με την προσθήκη πολύ λίγου νερού το ζυμάρι θα είναι σκληρό, άκαμπτο και δύσκολο στην επεξεργασία, δημιουργώντας ψωμιά που έχουν μικρό όγκο και κακή εξωτερική εμφάνιση. Πάρα πολύ νερό και το ζυμάρι θα είναι μαλακό και θα ρέει δίνοντας ψωμί πολύ κακής ποιότητας. Το «βέλτιστο» επίπεδο νερού είναι πραγματικά η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να προστεθεί στο ζυμάρι ώστε να προκύψει ψωμί αποδεκτής ποιότητας (Cauvain and Young, 2001).

### 2.5.2. Αλάτι

Το αλάτι χρησιμοποιείται γενικά σε επίπεδα περίπου 1-2%, με βάση το βάρος του αλεύρου, και θεωρείται βασικό συστατικό για την παραγωγή πολλών προϊόντων αρτοποιίας. Εκτός από την ενίσχυση της γεύσης και της ελκυστικότητας των τελικών προϊόντων, έχει πολλές άλλες λειτουργίες στην αρτοποιία. Τροποποιεί τη ρεολογία του ζυμαριού στην αρτοποιία, καθιστώντας το ζυμάρι λιγότερο κολλώδες, καθώς βελτιώνει τόσο τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα όσο και ενισχύει το δίκτυο γλουτένης. Το αλάτι επηρεάζει την απόδοση των ζυμομυκήτων, ευνοεί τη δράση των αμυλασών και ως εκ τούτου προκαλεί την παραγωγή μαλτόζης ως τροφή ζύμης και αναστέλλει τη δράση των πρωτεασών του αλεύρου, οι οποίες διαφορετικά θα αποπολυμερίζουν τις πρωτεΐνες της γλουτένης. Μειώνει τη δραστηριότητα του νερού στο προϊόν και συνεπώς επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Τέλος, συμβάλλει στο σχηματισμό του χρώματος του ψωμιού και επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων αρτοποιίας λόγω των υδροσκοπικών ιδιοτήτων (Giannou, Bail, 2005).

### 2.5.3. Ζάχαρη

Τα σάκχαρα ενσωματώνονται κανονικά στη σύνθεση των περισσότερων προϊόντων αρτοποιίας ως αρχική πηγή ζυμώσιμων υδατανθράκων για το ζυμάρι. Αυτό είναι σημαντικό επειδή τα ένζυμα αλεύρου δεν είναι ικανά να παράγουν επαρκείς ποσότητες σακχάρων για να διατηρήσουν τη ζύμωση και την παραγωγή αερίου κατά τα πρώτα στάδια της ζύμωσης. Συγκεκριμένα, τα σάκχαρα προστίθενται σε μικρές ποσότητες και με τη μορφή ζάχαρης από ζαχαροκάλαμο ή ζάχαρης από τεύτλα ή διαφόρων υδρολυμάτων αμύλου αραβοσίτου (σιρόπι αραβοσίτου, δεξτρόζη κλπ.). Τα σάκχαρα μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά της υφής, τη γεύση και την εμφάνιση των προϊόντων αρτοποιίας, κυρίως βελτιώνοντας το χρώμα της κρούστας. Ακόμα, τα σάκχαρα αυξάνουν τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου, με αποτέλεσμα την αύξηση της διόγκωσης κατά τον κλιβανισμό και ενισχύουν τη διατήρηση της υγρασίας στα τελικά προϊόντα. Μερικές φορές, πολλά άλλα γλυκαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων για ειδικούς σκοπούς, όπως για να βελτιώσουν τη γεύση και να αποφύγουν την επιδείνωση της υγείας ή της διατροφής (Giannou, Bail, 2005).

#### 2.5.4. Λιπαρά

Τα σύνθετα λίπη αρτοποιίας (μείγματα ελαίου και στερεού λίπους σε δεδομένη θερμοκρασία) χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την κατακράτηση αερίου του ζυμαριού και έτσι να αυξήσουν τον όγκο και την απαλότητα. Το επίπεδο που χρησιμοποιείται θα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του αλεύρου, με αλεύρια ολικής άλεσης που απαιτούν υψηλότερα επίπεδα προσθήκης λίπους από το λευκό, συχνά δύο ή τρεις φορές περισσότερο.

Άλλα συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή των αρτοσκευασμάτων είναι διάφορα οξειδωτικά μέσα, οξέα, ένζυμα και γαλακτωματοποιητές. Ο σκοπός της προσθήκης χημικών οξειδωτικών μέσων είναι να βελτιωθεί η ρεολογία, ο χειρισμός του ζυμαριού και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ψημένων προϊόντων. Οξειδωτικά μέσα είναι το ασκορβικό οξύ, το βρωμικό κάλιο, το αζωδικαρθοναμίδιο και το υπεροξείδιο του ασβεστίου. Προστίθενται σε ποσότητες της τάξης του ppm και βελτιώνουν τη δύναμη του ζυμαριού καθώς και τον όγκο και την υφή του τελικού άρτου. Ο τύπος και η ποσότητα των οξειδωτικών που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία ποικίλλουν από χώρα σε χώρα. Στην ΕΕ έχει τεθεί υπό εξέταση η χημική κατεργασία του αλεύρου και η χρήση πρόσθετων ουσιών. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, για παράδειγμα, δεν επιτρέπουν τη χρήση βρωμικού άλατος στο άλευρο αρτοποιίας και συχνά αυτό αντικαθίσταται με ασκορβικό οξύ. Οξέα όπως το οξικό και το γαλακτικό οξύ προστίθενται στα άλευρα, προκειμένου να αυξήσουν τη διατηρησιμότητα του άρτου. Έχει προταθεί, μάλιστα, η αντικατάσταση βρωμικών αλάτων ή ασκορβικού οξέος από οξικό οξύ στην αρτοποιία.

Η τάση περιορισμού των χημικών ουσιών που προστίθενται στα τρόφιμα οδήγησε σε στροφή προς τη χρήση ενζύμων ως συστατικών του ζυμαριού, καθώς θεωρείται ότι μπορούν να αντικαταστήσουν διάφορα οξειδωτικά μέσα ή επιφανειοενεργές ουσίες. Συχνά, έχουν συνεργιστική δράση, όταν συνδυάζονται μεταξύ τους, βελτιώνοντας παράλληλα τόσο τη συμπεριφορά του ζυμαριού κατά την επεξεργασία, όσο και την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Επίσης, επηρεάζουν την ζελατινοποίηση και την αναδιάταξη του αμύλου. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ενζύμων είναι ότι δρουν ως βοηθητικά μέσα επεξεργασίας κατά το σχηματισμό του ζυμαριού και στα αρχικά στάδια του κλιβανισμού, προτού μετουσιωθούν και αδρανοποιηθούν. Λόγω της ιδιότητάς τους αυτής, σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι αναγκαία η αναγραφή τους στην ετικέτα των προϊόντων. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ένζυμα (ενδογενή ή εξωγενώς προστιθέμενα) είναι η α-αμυλάση, οι ξυλανάσες, οι λιποξυγενάσες, η οξειδάση της γλυκόζης, η τρανσγλουταμινάση, τα πρωτεολυτικά ένζυμα και οι λιπάσες.

Προκειμένου να διατηρηθεί η απαλότητα του άρτου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, χρησιμοποιούνται επίσης και επιφανειοενεργές ουσίες. Οι ουσίες αυτές αλληλεπιδρούν με το άμυλο και ειδικά με τα γραμμικά μόρια της αμυλόζης και σχηματίζουν σύμπλοκα. Έτσι καθυστερούν την ξήρανση και το μπαγιάτεμα του άρτου, είτε παρεμποδίζοντας την αναδιάταξη της αμυλόζης ή της αμυλοπηκτίνης, είτε περιορίζοντας τους διαθέσιμους πυρήνες αμυλόζης β-τύπου που προάγουν την αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης. Επίσης, εμποδίζουν τη μετανάστευση νερού από τη γλουτένη στο άμυλο (Γιάννου, 2009).



### 3. Αρτοποιήση

#### 3.1. Στάδια αρτοποιήσης

##### 3.1.1. Ανάπτυξη ζυμαριού

Η ανάπτυξη ζυμαριού είναι ένας σχετικά απροσδιόριστος όρος που καλύπτει μία σειρά σύνθετων αλλαγών που ξεκινούν όταν τα συστατικά αρχικά αναμιγνύονται. Αυτές οι αλλαγές σχετίζονται με το σχηματισμό γλουτένης, πράγμα το οποίο απαιτεί τόσο την ενυδάτωση των πρωτεϊνών στο αλεύρι όσο και την εφαρμογή ενέργειας μέσω της διαδικασίας ζύμωσης. Ο ρόλος της ενέργειας στο σχηματισμό της γλουτένης δεν είναι πάντα πλήρως εκτιμημένος, αλλά είναι ένας σημαντικός συντελεστής στη διαδικασία παρασκευής αρτοσκευασμάτων. Υπάρχουν περισσότερα για να γίνει η ανάπτυξη παρά μία απλή διαδικασία ζύμωσης. Η διαδικασία ανάπτυξης ζυμαριού ψωμιού επιφέρει αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες του ζυμαριού και ειδικότερα βελτίωση της ικανότητάς του να συγκρατεί το αέριο διοξειδίου του άνθρακα το οποίο αργότερα θα δημιουργηθεί με ζύμωση. Αυτή η βελτίωση στην ικανότητα συγκράτησης αερίου είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν τα τεμάχια ζυμαριού φτάνουν στο φούρνο. Στα πρώτα στάδια ψησίματος πριν από τη ρύθμιση του ζυμαριού, η δραστηριότητα της ζύμης είναι πολύ έντονη και παράγονται μεγάλες ποσότητες αερίου διοξειδίου του άνθρακα και απελευθερώνεται από το διάλυμα στην υδατική φάση του ζυμαριού. Εάν τα κομμάτια του ζυμαριού πρόκειται να συνεχίσουν να αναπτύσσονται αυτή τη στιγμή, τότε το ζυμάρι πρέπει να είναι σε θέση να συγκρατήσει μία μεγάλη ποσότητα αυτού του αερίου που παράγεται και αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν έχει δημιουργηθεί μία δομή γλουτένης με τις κατάλληλες φυσικές ιδιότητες.

Είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ παραγωγής αερίου και κατακράτησης αερίου σε ζυμάρι που έχει υποστεί ζύμωση. Η παραγωγή αερίου αναφέρεται στην παραγωγή αερίου διοξειδίου του άνθρακα ως φυσική συνέπεια ζύμωσης. Με την προϋπόθεση ότι τα κύτταρα ζύμης στο ζυμάρι παραμένουν βιώσιμα και υπάρχει επαρκές υπόστρωμα, τότε η παραγωγή αερίου θα συνεχιστεί, αλλά η διόγκωση του ζυμαριού μπορεί να συμβεί μόνο εάν το αέριο διοξειδίου του άνθρακα διατηρείται στο ζυμάρι. Κατά τη διαδικασία της παρασκευής αρτοσκευασμάτων δεν θα διατηρηθεί όλο το αέριο που παράγεται μέσα στο ζυμάρι πριν τελικά αυτό φτάσει στο φούρνο. Η αναλογία που θα διατηρηθεί εξαρτάται από την ανάπτυξη μίας κατάλληλης μήτρας γλουτένης εντός της οποίας μπορεί να συγκρατηθεί το διογκούμενο αέριο. Συνεπώς, η κατακράτηση αερίου στο ζυμάρι συνδέεται στενά με το βαθμό ανάπτυξης του ζυμαριού. Οι συνηθέστεροι παράγοντες είναι εκείνοι που σχετίζονται με το πρωτεϊνικό συστατικό του αλεύρου σίτου. Ωστόσο, η ανάπτυξη του ζυμαριού θα επηρεαστεί από ένα μεγάλο αριθμό συστατικών και

παραμέτρων επεξεργασίας, πολλά από τα οποία δεν είναι αναγκαστικά ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

### *3.1.2. Ανάμιξη και επεξεργασία ζυμαριού*

Στην ουσία, η ανάμιξη είναι η ομογενοποίηση των συστατικών, ενώ η ζύμωση είναι η ανάπτυξη της δομής ζυμαριού (γλουτένης) μετά την αρχική ανάμιξη. Κατά τη διαδικασία της αρτοποιίας, η ανάμιξη παρέχει την απαραίτητη μηχανική ενέργεια για την έναρξη μίας σειράς πολύπλοκων μεταβολών και αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα διάφορα συστατικά. Η ανάπτυξη του ζυμαριού επιτυγχάνεται σε τέσσερα διακριτά τμήματα, κατά τη διάρκεια των οποίων προκαλούνται πολυάριθμες, φυσικές και βιοχημικές μεταβολές. Κατά το πρώτο στάδιο, διασφαλίζεται η ομοιόμορφη ανάμιξη των προστιθέμενων συστατικών. Το ζυμάρι στη φάση αυτή είναι υγρό και κολλώδες. Καθώς η ανάμιξη συνεχίζεται, αρχίζει να διαμορφώνεται η δομή γλουτένης του ζυμαριού. Στο τρίτο στάδιο, το αναπτυσσόμενο ζυμάρι γίνεται διαρκώς περισσότερο ξηρό και ελαστικό και σχηματίζει μια συνεκτική μάζα. Το τέταρτο και κρισιμότερο στάδιο ολοκληρώνεται μόλις η εμφάνιση του ζυμαριού μετατραπεί από σχετικά θαμπή σε απαλή και σατινένια.

Οι μηχανές ανάμιξης ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από εκείνες που ουσιαστικά μιμούνται τη δράση ανάμιξης με τα χέρια σε μηχανές υψηλής ταχύτητας που είναι σε θέση να μετατρέψουν το μίγμα στην απαιτούμενη κατάσταση ζυμαριού μέσα σε λίγα λεπτά. Πολλές μηχανές ανάμιξης εξακολουθούν να επεξεργάζονται το ζυμάρι όπως έγινε αρχικά με το χέρι μέσω μίας σειράς λειτουργιών συμπίεσης και τεντώματος (ζύμωση), ενώ άλλοι χρησιμοποιούν μία μηχανική διατηρητική δράση υψηλής ταχύτητας και έντασης για την επεξεργασία του ζυμαριού.

### *Δημιουργία κυτταρικής δομής κατά την ανάμιξη*

Η παραγωγή μίας καθορισμένης κυτταρικής δομής στο ψημένο ψωμί εξαρτάται εξ ολοκλήρου από τη δημιουργία φυσαλίδων αερίου στο ζυμάρι κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και της συγκράτησής τους κατά την διάρκεια της επόμενης επεξεργασίας. Μετά την ολοκλήρωση της ανάμιξης το μόνο «νέο» διαθέσιμο αέριο είναι το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τη ζύμωση της ζύμης. Το αέριο διοξειδίου του άνθρακα έχει υψηλή διαλυτότητα σε σχέση με άλλα αέρια και σε ζύμη ψωμιού δεν μπορεί να δημιουργήσει φυσαλίδες αερίου. Καθώς η ζύμη παράγει διοξείδιο του άνθρακα, το αέριο πηγαίνει σε διάλυμα στην υδατική φάση εντός του ζυμαριού μέχρις ότου επιτευχθεί κορεσμός. Στη συνέχεια, η συνεχιζόμενη ζύμωση προκαλεί επέκταση του ζυμαριού καθώς το αέριο διατηρείται μέσα στη δομή του. Τα δύο άλλα αέρια που υπάρχουν στο ζυμάρι μετά την ανάμιξη είναι

οξυγόνο και άζωτο. Ο χρόνος παραμονής για το οξυγόνο είναι σχετικά βραχύς, διότι απορροφάται γρήγορα από τα κύτταρα ζύμης μέσα στο ζυμάρι. Με την απομάκρυνση του οξυγόνου το μόνο αέριο που παραμένει παγιδευμένο είναι το άζωτο και αυτό παίζει σημαντικό ρόλο παρέχοντας πυρήνες φυσαλίδων μέσα στις οποίες το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να διαχέεται καθώς το τελευταίο εξέρχεται από το διάλυμα. Ο αριθμός και το μέγεθος φυσαλίδων αερίου στο ζυμάρι στο τέλος της ανάμιξης επηρεάζονται έντονα από το μηχανισμό σχηματισμού ζυμαριού, σχεδιασμού ανάμιξης και συνθηκών ανάμιξης σε μια συγκεκριμένη μηχανή (Cauvain, 1994, 1995).

### *3.1.3. Διαίρεση ζυμαριού*

Το ζυμάρι διαιρείται για να παράγει το σχήμα και το μέγεθος του προϊόντος που απαιτείται. Το ζυμάρι χωρίζεται γενικά ογκομετρικά με τμήματα μίας κοπής δεδομένου μεγέθους, είτε γεμίζοντας ένα θάλαμο με ζυμάρι και κόβοντας την περίσσεια (διαίρεση του εμβόλου) είτε πιέζοντας το ζυμάρι διαμέσου ενός στομίου με σταθερό ρυθμό και κόβοντας τα πρίσματα από το άκρο σε κανονικά διαστήματα (διάσπαση εξώθησης). Και στις δύο περιπτώσεις η ακρίβεια του συστήματος εξαρτάται από την ομοιογένεια του ζυμαριού. Διαφορετικά διαχωριστικά πρέπει να ταιριάζουν σε διαφορετικούς τύπους ζυμαριού προκειμένου να δίνουν τη βέλτιστη ακρίβεια διαχωρισμού με ελάχιστη ζημιά στη συμπίεση. Για παράδειγμα, τα «ισχυρά» ζυμάρια ψωμιού της Βόρειας Αμερικής μπορούν να αντέξουν υψηλά φορτία συμπίεσης, ενώ τα ζυμάρια γαλλικής μπαγκέτας είναι εύθρυπτα.

### *3.1.4. Μορφοποίηση ζυμαριού*

Μετά τη διαίρεση, τα τμήματα του ζυμαριού έχουν συνήθως ακανόνιστο σχήμα με κολλώδεις επιφάνειες εκεί που έχουν κοπεί, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπουν την ικανοποιητική ανάπτυξη του ζυμαριού. Το στρογγύλεμα έχει στόχο την παραγωγή τεμαχίων με σφαιρικό σχήμα και λεία, απαλή και σχετικά ξηρή επιδερμίδα, μέσω της τάνυσης και του αναπροσανατολισμού της γλουτένης που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα του ζυμαριού. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η διατήρηση του αερίου και ο χειρισμός του ζυμαριού κατά τα επόμενα στάδια. Μετά τη διαίρεση και το στρογγύλεμα του ζυμαριού ακολουθεί η τελική διαμόρφωση, συνήθως μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα ανάπαυσης, στην περίπτωση προϊόντων διογκούμενων με μαγιά. Περιλαμβάνει κύλιση και μορφοποίηση μέσω της εφαρμογής πίεσης (Cocoa, 1998).



### 3.1.5. Ζύμωση και κλιβανισμός

Ο κύριος σκοπός του σταδίου διόγκωσης στο ψήσιμο είναι η επέκταση του τεμαχίου ζυμαριού και η τροποποίηση της ρεολογίας του ώστε να επιτευχθεί περαιτέρω ανάπτυξη της δομής στο φούρνο. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να παραχθεί αέριο διοξείδιο του άνθρακα από τη ζύμωση της ζύμης. Επομένως, η πρώτη σκέψη είναι να υπάρξουν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες για καλύτερη δραστηριότητα της ζύμης. Η ζύμη παράγει αέριο διοξείδιο του άνθρακα σε ένα εύρος θερμοκρασιών. Η ζύμη των αρτοποιητικών είναι στην πιο ενεργή μορφή της στους 35 έως 40°C και έτσι η λειτουργία του κλιβάνου γύρω στους 40°C ελαχιστοποιεί το χρόνο που απαιτείται για την διόγκωση. Κατά τη διάρκεια της διόγκωσης, το άμυλο από το αλεύρι μετατρέπεται προοδευτικά σε δεξτρίνες και σάκχαρα με ενζυμική δράση. Η ζύμη ζυμώνει τα σάκχαρα για να παράγει διοξείδιο του άνθρακα και αλκοόλη. Το διοξείδιο του άνθρακα διαχέεται στις φυσαλίδες αερίου στο ζυμάρι, προκαλώντας την ανάπτυξή τους και την ανάπτυξη του ζυμαριού. Προοδευτικά το μέγεθος των φυσαλίδων αερίου αυξάνεται. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, η αύξηση της παραγωγής αερίου φτάνει το μέγιστο περίπου στους 43 °C. Μέχρι τη στιγμή που η θερμοκρασία έχει φτάσει στους 55 °C, έχει σταματήσει η δραστηριότητα της ζύμης και τα κύτταρα είναι νεκρά. Συνήθως επιδιώκεται να επιτευχθεί περίπου το 90% του απαιτούμενου όγκου προϊόντος στο ζυμάρι, αφήνοντας το τελευταίο περίπου 10% να έρθει από τον φούρνο. Ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί αυτό το σημείο εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία που υπάρχει στο ζυμάρι. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα ζυμαριού, τόσο μικρότερος θα είναι ο χρόνος διόγκωσης σε έναν δεδομένο όγκο. Έτσι, εάν το μόνο κριτήριο για να επιλεγούν οι συνθήκες διόγκωσης είναι να παραμείνει το ζυμάρι στον κλίβανο για όσο το δυνατόν συντομότερο χρονικό διάστημα τότε θα ήταν καλύτερα να επιλεγεί ένα υψηλό επίπεδο ζύμης και μία θερμοκρασία γύρω στους 40-43°C και σε μεγάλο βαθμό αυτό είναι το πρότυπο στα περισσότερα αρτοποιεία.

Το άλλο θέμα που πρέπει να εξετάζεται είναι η σχετικά κακή αγωγιμότητα της θερμότητας από το ζυμάρι. Το ζυμάρι εισέρχεται συνήθως στον υπεύθυνο σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα στον κλίβανο. Όπως αποδεικνύεται, τα εξωτερικά στρώματα θερμαίνονται γρήγορα ενώ το κέντρο του ζυμαριού παραμένει πιο δροσερό. Εάν το επίπεδο του ζυμαριού είναι πολύ υψηλό, τα εξωτερικά στρώματα θα διογκωθούν υπερβολικά και θα χάσουν τις ιδιότητες κατακράτησης αερίων. Οι μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας σε ένα κομμάτι ζυμαριού μέχρι το τέλος της διόγκωσης τείνουν να δώσουν φτωχή ποιότητα προϊόντος, δείχνοντας την έλλειψη όγκου και την ανομοιογενή κυτταρική δομή.

Μία ακόμη προϋπόθεση είναι η σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το ζυμάρι. Η σχετική υγρασία του ζυμαριού κυμαίνεται γύρω στο 90-95% και συνεπώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό για την εξάτμιση της επιφάνειας εκτός εάν ληφθούν μέτρα για την αύξηση της υγρασίας του κλιβάνου. Τυπικά, αυξάνεται σε περίπου 85% για να ελαχιστοποιηθεί η εξάτμιση ή η απολέπιση της επιφάνειας. Συνοπτικά, οι καλύτερες συνθήκες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι αυτές που είναι περισσότερο «φιλικές προς τη ζύμη». Αυτό θα υποδείξει θερμοκρασίες παρόμοιες με εκείνες που επιτυγχάνονται στη ζύμωση αλλά αυτό θα έδινε παρατεταμένους χρόνους διόγκωσης εάν δεν αυξηθούν τα επίπεδα της ζύμης σε τέτοιο βαθμό, ώστε να είναι αποδεκτές οι αλλαγές γεύσης. Ο πρακτικός συμβιβασμός προτείνει θερμοκρασίες από 35 έως 40 °C με κατάλληλο έλεγχο υγρασίας (Cauvain, Campden, 2003).

### *3.1.6. Ψήσιμο*

Μετά την διόγκωση, το ζυμάρι πρέπει να ψηθεί στο φούρνο. Η διαδικασία είναι μια μετατροπή ενός αφρού σε σφουγγάρι. Οι θερμοκρασίες ψησίματος ποικίλλουν από φούρνο σε φούρνο και από προϊόν σε προϊόν. Συνήθως οι θερμοκρασίες του φούρνου βρίσκονται στην περιοχή των 220-250°C. Μία βασική παράμετρος της ποιότητας του ψωμιού είναι να επιτευχθεί θερμοκρασία πυρήνα περίπου 92-96°C μέχρι το τέλος του ψησίματος για να διασφαλιστεί η πλήρης ρύθμιση της δομής του προϊόντος (Cauvain, Campden, 2003).



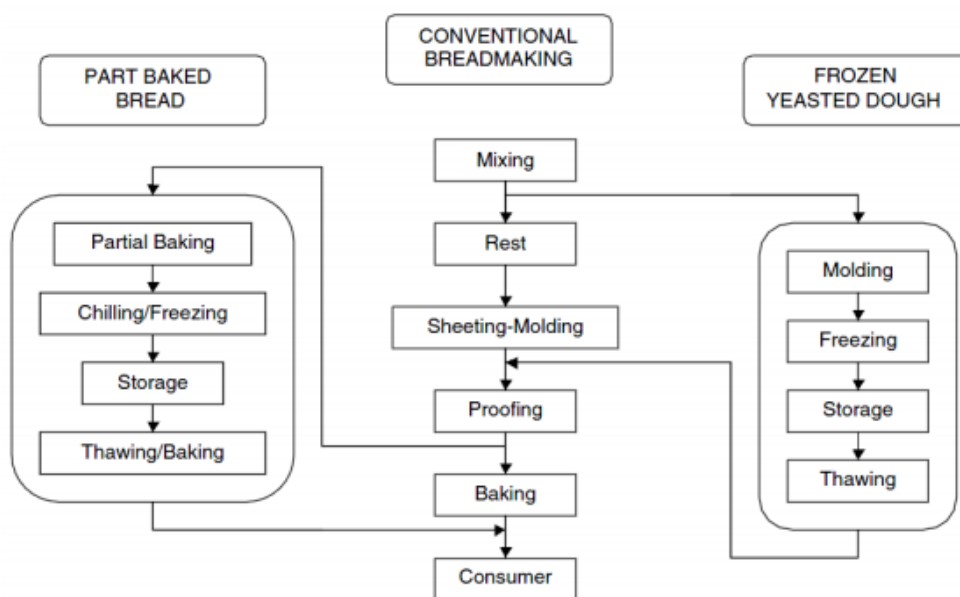
#### 4. Κατεψυγμένο ζυμάρι- Παραγωγική διαδικασία

Το ψωμί είναι ένα από τα πιο ευρέως καταναλισκόμενα τρόφιμα σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, η αποδυνάμωση του αμύλου προκαλεί μία σειρά φυσικοχημικών αντιδράσεων, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής, ενώ η απώλεια υγρασίας αυξάνει τη σκληρότητα του ψωμιού. Όπως και η ξήρανση και η ψύξη που είναι κοινές τεχνολογίες συντήρησης, η κατάψυξη χρησιμοποιείται συχνά για την επέκταση της αποθήκευσης τροφίμων. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη του κατεψυγμένου ζυμαριού μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις των παραπάνω προβλημάτων με καλύτερη διάρκεια ζωής. Η παραγωγή κατεψυγμένου ζυμαριού περιλαμβάνει την ανάμειξη της μάζας, του νερού και των συστατικών, τη μορφοποίηση, τη συσκευασία και την αποθήκευση υπό κατάψυξη, και κανονικά η διαδικασία απαιτεί ταχεία ζύμωση. Σε σύγκριση με το ταχύτατα ζυμωμένο ζυμάρι πριν από την κατάψυξη, η ανοχή κατάψυξης του ζυμαριού είναι καλύτερη, αλλά η αίσθηση, η γεύση και το χρώμα του ψημένου ψωμιού δεν είναι τόσο καλά όσο η προηγούμενη. Εν τω μεταξύ, το άλευρο με υψηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη θα πρέπει να επιλεγεί αφού έχει αποδειχθεί ότι με τη χρήση υψηλών επιπέδων (9,5% -11%) γλουτένης, το κατεψυγμένο ζυμάρι είναι πιο ανθεκτικό στη βλάβη κατά του πάγου και ο όγκος, η υφή, το χρώμα και η σκληρότητα του τελικού προϊόντος είναι παρόμοια με του νωπού. Επιπλέον, ο χρόνος ζύμωσης είναι συνήθως μεγαλύτερος, ειδικά για το ζυμάρι με υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη.

Το κατεψυγμένο ζυμάρι έχει μεγάλο πλεονέκτημα τόσο για τον κατασκευαστή όσο και για τους καταναλωτές. Για τον κατασκευαστή, το κατεψυγμένο ζυμάρι μπορεί όχι μόνο να διευκολύνει την παράδοση, την εμπορία και τη δυνατότητα λιανικής πώλησης, αλλά μπορεί επίσης να βελτιώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής της ζύμης. Για τους καταναλωτές, το κατεψυγμένο ζυμάρι επιτρέπει στους καταναλωτές να δοκιμάσουν φρέσκο ψωμί οποτεδήποτε και οπουδήποτε. Ωστόσο, ενώ η κατάψυξη επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του ζυμαριού, η διαδικασία κατάψυξης και αποθήκευσης μπορεί επίσης να προκαλέσει υποβάθμιση της ποιότητας του κατεψυγμένου ζυμαριού, όπως βλάβη της δομής του δικτύου γλουτένης και μείωση της δραστηριότητας ζύμωσης της ζύμης, επηρεάζοντας συνεπώς την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Wenhuang, 2017).

Τα κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: προϊόντα κατεψυγμένου ζυμαριού και κατεψυγμένα ημι-κλιβανισμένα προϊόντα. Τα προϊόντα κατεψυγμένου ζυμαριού είναι αυτά που σχεδιάζονται έτσι, ώστε να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν κατά την κατάψυξη και την απόψυξη και εμφανίζουν παρόμοια ποιοτικά χαρακτηριστικά με το συμβατικό άρτο. Ωστόσο, η προετοιμασία τους διαρκεί τουλάχιστον 2-3h, αφού πριν τον κλιβανισμό τους πρέπει να αποψυχθούν και να διογκωθούν. Η απόψυξη και η διόγκωση λαμβάνουν συνήθως χώρα σε

θερμοκρασίες ελαφρώς υψηλότερες της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μετά κλιβανίζονται, ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν. Αντιθέτως, τα κατεψυγμένα ημικλιβανισμένα προϊόντα εμφανίζουν μικρό χρόνο προετοιμασίας (μπορούν να είναι έτοιμα σε μικρότερο από 20min) σε σχέση με τα πρώτα και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό. Η τεχνολογία των προϊόντων αυτών σε βιομηχανικό επίπεδο αποτελείται από την προετοιμασία του άρτου με μερικό κλιβανισμό σε μία μέση, συνήθως, θερμοκρασία, την ψύξη και την κατάψυξή του. Το κατεψυγμένο προϊόν μπορεί, στη συνέχεια, να τοποθετηθεί απευθείας στον κλίβανο και να υποστεί απόψυξη και κλιβανισμό σε ένα μόνο στάδιο. Ωστόσο, τα παραγόμενα προϊόντα που προκύπτουν είναι υποβαθμισμένα όσον αφορά τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής. Μερικές φορές συστήνεται η απόψυξή τους πριν τον τελικό κλιβανισμό που περιλαμβάνει την αναθέρμανση του προϊόντος για μικρό χρονικό διάστημα (περίπου τα 2/3 του αντίστοιχου χρόνου για τον πλήρη κλιβανισμό που απαιτείται για να αναπτυχθεί το χαρακτηριστικό καφετί χρώμα, το άρωμα/γεύση και η χαρακτηριστική υφή των αρτοσκευασμάτων) (Kraklow & Kandler, 2003).



Εικόνα 4.1. Διεργασίες παραγωγής κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

#### 4.1. Δραστηριότητα ζύμης

Η ζύμη αναφέρεται γενικά σε μία ποικιλία μυκήτων μεμονωμένων κυττάρων που μπορούν να ζυμώσουν τη ζάχαρη και είναι ευρέως κατανεμημένη στη φύση. Η ζύμη αναπτύσσεται κυρίως σε όξινα, υγρά, περιβάλλοντα που περιέχουν ζάχαρη και μπορεί να επιβιώσει τόσο σε αερόβιες όσο και σε αναερόβιες συνθήκες. Στο αναερόβιο περιβάλλον, η ζύμη μετατρέπει τους υδατάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα και αιθανόλη. Η ζύμη πρέπει να έχει νερό για να επιβιώσει και η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι μεταξύ 20 και 30°C ενώ η βιωσιμότητά της θα ανασταλεί πολύ εάν η θερμοκρασία είναι κάτω από 0°C ή υψηλότερη από 40°C. Οι ζυμομυκήτες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα κατεψυγμένου ζυμαριού κανονικά αναφέρονται στο *Saccharomyces cerevisiae* και υπάρχουν τρεις τύποι για χρήση σε κατεψυγμένη παραγωγή ζυμαριού, συμπεριλαμβανομένης της φρέσκιας ζύμης (FY), της ξηρής ζύμης (DY) και της υγρής ζύμης χύμα, της οποίας ο DY είναι ο συνηθέστερος τύπος. Ορισμένες μελέτες διαπίστωσαν ότι η DY είναι τόσο αποτελεσματική όσο και η απόδοση της ζύμωσης μπορεί να είναι καλύτερη από τη φρέσκια, οδηγώντας σε ένα πιο σταθερό κατεψυγμένο ζυμάρι. Ωστόσο, όταν αποθηκεύεται για περισσότερο από 20 εβδομάδες, ο χρόνος για τη διόρθωση DY είναι πάντοτε μεγαλύτερος από το νέο. Πολλές μελέτες ανέφεραν ότι η βιωσιμότητα της ζύμης είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του κατεψυγμένου ζυμαριού. Η βιωσιμότητα ζυμομυκήτων σε κατεψυγμένο ζυμάρι έχει σημαντική σχέση με τον όγκο του ψωμιού, τη σταθερότητα του ψωμιού και το πορώδες του ψωμιού, επειδή η μείωσή του μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παραγωγής ζυμομυκήτων και να παρατείνει τον χρόνο ζύμωσης. Η ανοχή σε κατάψυξη της ζύμης είναι πολύ χαμηλή και η δραστηριότητα της ζύμης επηρεάζεται από τις θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν. Κατά την κατάψυξη και την επακόλουθη κατεψυγμένη αποθήκευση, η δραστηριότητα της ζύμης αναστέλλεται και πολλά από τα κύτταρα ζυμομυκήτων πεθαίνουν. Επομένως, η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της κατάψυξης πρέπει να ελέγχεται σωστά.

Επιπλέον, μελέτες απέδειξαν επίσης ότι η ανοχή σε κατάψυξη της ζύμης σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε τρεχαλόζη, η οποία είναι ένας αποτελεσματικός προστατευτικός παράγοντας για τη διατήρηση της ακεραιότητας της κυτταρικής μεμβράνης και την πρόληψη της βλάβης της εσωτερικής δομής σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών κατάψυξης. Δεδομένου ότι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σχετίζεται μόνο με τη ζύμη, ο όγκος του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας της ζύμης (Wenhua, 2017).

#### 4.2. Δομή κατεψυγμένου ζυμαριού

Η δομή του δικτύου ζυμαριού, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος σε περίπτωση βλάβης, είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του ψωμιού. Η λειτουργία της δομής του δικτύου του ζυμαριού είναι παρόμοια με τη ζύμη, η οποία επηρεάζει την ικανότητα συγκράτησης του CO<sub>2</sub>, το χρόνο ζύμωσης και τον όγκο του ψωμιού. Η δομή μπορεί επίσης να επηρεάσει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του ψωμιού όπως η σταθερότητα και η σκληρότητα του ζυμαριού. Ακόμα, μετά από αρκετές εβδομάδες αποθήκευσης, οι κόκκοι αμύλου έχουν την τάση να διαχωρίζονται από τη γλουτένη, υποδεικνύοντας τη ζημία της δομής του δικτύου.

Γενικά, η δομή και το περιεχόμενο του κατεστραμμένου αμύλου του κατεψυγμένου ζυμαριού μπορούν να παρατηρηθούν με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης με χαμηλή θερμοκρασία (SEM). Ωστόσο, η επιφάνεια των κατεστραμμένων κόκκων αμύλου είναι σχετικά τραχεία. Το περιεχόμενο του κατεστραμμένου αμύλου αυξάνεται μετά την κατάψυξη και κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Η αύξηση του περιεχομένου οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ύδατος, προκαλώντας τελικά έκχυση νερού από τη μήτρα της γλουτένης. Ένα υψηλό επίπεδο αμύλου θα έκανε το ψωμί πιο κολλώδες και ανθεκτικό στις παραμορφώσεις, αλλά ταυτόχρονα, λόγω της αύξησης του ανταγωνισμού του νερού μεταξύ γλουτένης και κατεστραμμένου αμύλου, θα είχε ως αποτέλεσμα μία ασθενέστερη ανάπτυξη γλουτένης, προκαλώντας μείωση του ελαστικού και εκτάσιμου επιπέδου. Ωστόσο, ένα κατάλληλο περιεχόμενο του κατεστραμμένου αμύλου θα ήταν πιο επωφελές για το κατεψυγμένο ζυμάρι.

Κατά την ψύξη, η διαλυτοποιημένη αμυλόζη σχηματίζει ένα συνεχές δίκτυο, στο οποίο οι διογκωμένοι και παραμορφωμένοι κόκκοι αμύλου ενσωματώνονται και αλληλοσυνδέονται. Λόγω της ταχείας αποδόμησής του, η αμυλόζη είναι ένα βασικό δομικό στοιχείο του ψωμιού και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αρχική σταθερότητα του ψωμιού. Πράγματι, τα άλευρα που δεν περιέχουν αμυλόζη ανασυσταμένα με κηρώδη άμυλα ή προερχόμενα από κηρώδη σίτο δεν ήταν κατάλληλα για ψωμί, δεδομένου ότι παρήγαγαν ψωμιά με πολύ κακές ιδιότητες ψίχας.

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, το ψωμί χάνει βαθμιαία τη φρεσκάδα του. Η διαδικασία ξήρανσης περιλαμβάνει διάφορες πτυχές: η κρούστα σκληραίνει, η ψίχα γίνεται πιο σταθερή και λιγότερο ελαστική και χάνεται η υγρασία και η γεύση. Η κατάψυξη του ψωμιού είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο στο οποίο συμμετέχουν πολλά συστατικά και μηχανισμοί. Στις περισσότερες απόψεις, η μετανάστευση νερού και οι μετασχηματισμοί στο κλάσμα του αμύλου αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες αυτής της διαδικασίας.

Εντούτοις, η σύσφιξη της ψίχας κατά τη ξήρανση αποδίδεται κυρίως στην αποικοδόμηση αμυλοπηκτικής, ιδιαίτερα στον σχηματισμό διπλών ελικοειδών δομών και κρυσταλλικών περιοχών. Επειδή η αμυλόζη είναι ήδη σχεδόν πλήρως ανασυσταμένη στο ψωμί μετά την ψύξη, θεωρείται ότι έχει λίγη, αν όχι καθόλου, συμβολή στη σκληρότητα του ψωμιού. Η αναδιοργάνωση πλευρικής αλυσίδας αμυλοπηκτικής οδηγεί σε αυξημένη ακαμψία των διογκωμένων κόκκων. Ωστόσο, ο σχηματισμός δομημένων δομών αμυλόζης στο κέντρο των κόκκων μπορεί επίσης να συμβάλει στην κοκκώδη ακαμψία (Wenhuang, 2017).





## 5. Προβλήματα-Διαφορές-Λύσεις

Κατά την κατάψυξη των τροφίμων, εμφανίζονται ορισμένες σοβαρές φυσικές μεταβολές όπως η ανομοιογενής ανάπτυξη των κρυστάλλων πάγου μέσα στα προϊόντα ή η μετανάστευση υγρασίας λόγω διακύμανσης της τάσης υδρατμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση υγρασίας ιδιαίτερα στην επιφάνεια των προϊόντων και μπορεί να είναι επιζήμια για την υφή ή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Η ποιότητα του ψωμιού που παρασκευάζεται από κατεψυγμένο ζυμάρι συγκεκριμένα επηρεάζεται από τη διαμόρφωση ζυμαριού καθώς και από παραμέτρους επεξεργασίας όπως ο χρόνος ανάμιξης του ζυμαριού, ο ρυθμός ψύξης, η θερμοκρασία αποθήκευσης σε κατεψυγμένα, η διάρκεια αποθήκευσης και ο ρυθμός απόψυξης. Φαίνεται ότι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να δράσουν είτε ανεξάρτητα είτε συνεργιστικά για να μειώσουν τη δραστηριότητα της ζύμης, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή CO<sub>2</sub> ή την εξασθένηση ή βλάβη στο δίκτυο της γλουτένης και συνεπάγεται κακή κατακράτηση CO<sub>2</sub> και κακή απόδοση ψησίματος.

Οι κύριες συνέπειες αυτών των φαινομένων είναι οι μεγαλύτεροι χρόνοι ζύμωσης, η αυξημένη εκτατότητα, ο μειωμένος όγκος του ψωμιού, η υποβάθμιση των χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων και η μεταβλητή απόδοση. Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ψωμιού κατεψυγμένου ζυμαριού έχουν μελετηθεί εκτενώς. Η παρουσία νεκρών κυττάρων ζύμης στο ζυμάρι έχει ως αποτέλεσμα την κακή ποιότητα ψωμιού, αλλά ορισμένοι ερευνητές δεν παρατηρούν σημαντική τροποποίηση στη ρεολογία του ζυμαριού με ή χωρίς μαγιά. Άλλοι έδειξαν ότι η δομή της γλουτένης στο κατεψυγμένο ζυμάρι θα μπορούσε να καταστραφεί από το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου.

Τα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη είναι ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων, η υαλώδης μετάπτωση και τα ωσμωτικά φαινόμενα. Λόγω αυτών, κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των προϊόντων, λαμβάνουν χώρα σοβαρές μεταβολές και δράσεις που μπορεί να έχουν καταστροφική επίδραση στην υφή και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Kraklow & Kandler, 2003).

Το πρώτο από τα προβλήματα προέρχεται από την απώλεια νερού από διαφορετικές περιοχές του προϊόντος κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Έχει εκτιμηθεί ότι περίπου το 30% του νερού στο ψωμί παραμένει μη παγωμένο στο ψωμί, ακόμη και στους 20°C.

Η συμβατική διαδικασία κατάψυξης όπως αυτή που χρησιμοποιείται για την κατάψυξη του ζυμαριού ψωμιού είναι περιορισμένη όσον αφορά τον ρυθμό ψύξης. Η μαγιά είναι ένας πολύ ανθεκτικός μικροοργανισμός, αλλά η δραστηριότητα της

ζύμης επηρεάζεται από την κατάψυξη. Επομένως, συνιστώνται υψηλότερες αναλογίες ζυμών σε σκευάσματα κατεψυγμένου ζυμαριού για να αντισταθμιστεί η απώλεια δραστηριότητας λόγω της κατάψυξης και των περιόδων αποθήκευσης που οδηγούν σε χαμηλότερη παραγωγική ικανότητα αερίου. Τα κύτταρα που εκτίθενται σε θερμοκρασίες κάτω από 0°C είναι κατεστραμμένα με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται και την ταχύτητα ψύξης. Ο βέλτιστος ρυθμός ψύξης για την καταστροφή όσο το δυνατόν λιγότερων κυττάρων ζύμης είναι 7°C / min. Για τα ποσοστά κάτω από το βέλτιστο, το ποσοστό των θανάτων αυξάνεται, ενώ τα ποσοστά πάνω από τις συνιστώμενες τιμές αυξάνουν τη ζημιά από το σχηματισμό ενδοκυτταρικού πάγου. Εκτός αυτού, η ανακρυστάλλωση των κρυστάλλων πάγου οδηγεί στον κυτταρικό θάνατο προκαλώντας βλάβη στο εσωτερικό του κυττάρου (Anon, Bail, 2004).

Η ποιότητα του κατεψυγμένου ζυμαριού εξαρτάται από την ικανότητα παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα της ζύμης και την ικανότητα συγκράτησης CO<sub>2</sub> του ψωμιού μετά την ζύμωση. Η μείωση της βιωσιμότητας των ζυμών και η καταστροφή της δομής του δικτύου του ζυμαριού θεωρούνται δύο σημαντικοί παράγοντες που οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας του ζυμαριού, ενώ και οι δύο προκαλούνται από κρυστάλλους πάγου. Οι επιδράσεις των κρυστάλλων πάγου θα μπορούσαν να είναι πολλαπλές: η μηχανική δράση των κρυστάλλων πάγου μπορεί να επηρεάσει τη δομή και τις ιδιότητες του ζυμαριού, και όσο μεγαλύτεροι είναι οι παγωμένοι κρύσταλλοι, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανή βλάβη στη δομή του ζυμαριού. Ο σχηματισμός ενδοκυτταρικών κρυστάλλων πάγου θα διαπεράσει την κυτταρική μεμβράνη που οδηγεί σε καταστροφή ζύμης και τέλος ο σχηματισμός επιπλέον κυτταρικών κρυστάλλων πάγου θα αυξήσει την ενδοκυτταρική οσμωτική πίεση, οδηγώντας στην αφυδάτωση των κυττάρων ζύμης και τη μείωση της βιωσιμότητάς τους. Επομένως, για καλύτερο ψωμί, είναι απαραίτητο να ελεγχθεί ο σχηματισμός κρυστάλλων πάγου. Υπάρχουν δύο τρόποι για τον έλεγχο των κρυστάλλων πάγου, ένας είναι η προσθήκη κρυστοπροστατευτικών παραγόντων για την παρεμπόδιση της μορφοποίησης και της αύξησης των κρυστάλλων πάγου και ένας άλλος είναι ο έλεγχος του ρυθμού ψύξης για την παραγωγή κρυστάλλων πάγου με πιο ομοιόμορφη κατανομή.

Η κατάψυξη και η αποθήκευση άψητου ψωμιού και άλλων ζυμαριών είναι απολύτως εφικτή, αλλά απαιτεί κάποια προσοχή σε όλες τις πτυχές της παραγωγής, επεξεργασίας και μεταγενέστερης χρήσης του ζυμαριού κατά την απόψυξη. Οι ακόλουθες οδηγίες υπογραμμίζουν ορισμένους από τους πιο σημαντικούς τομείς:

- Η διαδικασία παρασκευής ζυμαριού πρέπει να γίνεται στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, καθώς η περίοδος ζύμωσης πριν την κατάψυξη έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του ψωμιού.

- Η αύξηση του επιπέδου της μαγιάς μπορεί να αντισταθμίσει την απώλεια της παραγωγής αερίων από κύτταρα ζύμης που θανατώνονται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της αποθήκευσης.
- Τα προϊόντα πρέπει να είναι πλήρως κατεψυγμένα, με θερμοκρασία πυρήνα τουλάχιστον  $-10^{\circ}\text{C}$ , προτού περάσουν στην αποθήκη για να ελαχιστοποιηθούν τις απώλειες ποιότητας.
- Η προοδευτική απώλεια του όγκου του τελικού προϊόντος, καθώς ο χρόνος αποθήκευσης αυξάνεται, είναι αναμενόμενη.
- Η απόψυξη των προϊόντων πρέπει να γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και μακρούς χρόνους για να ελαχιστοποιούνται οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου του ζυμαριού και της επιφάνειας.

Η ξήρανση με κατάψυξη χρησιμοποιείται ευρέως ως μακροχρόνια τεχνική συντήρησης για τα βακτήρια και τη ζύμη, όπου πρέπει να παγώσουν προηγουμένως και η απομάκρυνση του νερού να γίνει από την εξάχνωση, χωρίς να περάσει από την υγρή φάση. Οι χαμηλές θερμοκρασίες, ειδικά κάτω από το σημείο πήξης, μπορεί να προκαλέσουν σοβαρή βλάβη σε μικροοργανισμούς λόγω του σχηματισμού ενδοκυτταρικών κρυστάλλων πάγου. Έτσι, μπορεί να προστεθεί ένα κρυσταλλοπροστατευτικό μέσο πριν από τη διαδικασία ξήρανσης με κατάψυξη, επειδή παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση των μικροοργανισμών (Stefanello, 2017).

### 5.1. Χρήση κρυσταλλοπροστατευτικών – Τρεχαλόζη

Μερικοί οργανισμοί είναι ικανοί να επιβιώσουν στην ξήρανση και να ξαναρχίσουν γρήγορα τις μεταβολικές δραστηριότητες όταν έρχονται ξανά σε επαφή με το νερό. Η αντίσταση στην ξήρανση είναι μία ιδιότητα οικολογικής σημασίας, επειδή ορισμένοι οργανισμοί, όπως οι νηματώδεις ή οι στρεπτομύκητες, συχνά ζουν σε περιβάλλοντα που ξηραίνονται περιοδικά. Από την άλλη πλευρά, η διατήρηση γενετικών σπόρων ή μικροοργανισμών εξαρτάται από τη διατήρηση της ακεραιότητας της κυτταρικής μεμβράνης κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης και της μετέπειτα επανυδάτωσης. Η βιωσιμότητα της ξηρής ζύμης της αρτοποιίας αποτελεί επίσης βασικό χαρακτηριστικό της ποιότητας της βιομάζας. Η αφυδάτωση ενός οργανισμού μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολική ανισορροπία εξαιτίας μεταβολών της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας και των επιδράσεων εγγύτητας που προκαλούνται από την απώλεια νερού. Τα κύτταρα τείνουν να διπλώνονται και να συρρικνώνονται. Οι μη αναγωγικοί δισακχαρίτες όπως η σακχαρόζη ή η τρεχαλόζη αποτρέπουν τη μετάπτωση φάσης στην λιπιδική διπλοστοιβάδα και έτσι προστατεύουν τις μεμβράνες από τις βλάβες. Η τρεχαλόζη έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς ως ένα μη τοξικό κρυσταλλοπροστατευτικό για φυτικά κύτταρα (Coutinho, 1987).

### 5.1.1. Δομή και κατανομή της τρεχαλόζης

Η τρεχαλόζη είναι ένας μη αναγωγικός δισακχαρίτης στον οποίο δύο μόρια γλυκόζης συνδέονται μαζί σε ένα 1,1-γλυκοζιτικό δεσμό. Αν και υπάρχουν τρεις πιθανές μορφές της τρεχαλόζης, δηλαδή, α,β-1,1-, b,b-1,1-, και α,α1,1-, μόνο η α, α-τρεχαλόζη απομονώθηκε και βιοσυντέθηκε σε ζωντανούς οργανισμούς. Αυτός ο φυσικά απαντώμενος δισακχαρίτης είναι ευρέως διαδεδομένος σε όλο τον βιολογικό κόσμο. Έτσι, η παρουσία τρεαλόζης στις κατώτερες τάξεις του φυτικού βασιλείου είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Η τρεαλόζη είναι συνηθισμένη σε ζυμομύκητες και μύκητες όπου εμφανίζεται σε σπόρια, καρποφόρα σώματα και φυτικά κύτταρα. Όταν αυτά τα σπόρια βλαστήσουν, τα βλεννογόνα περιέχουν περίπου 7% τρεχαλόζη σε ξηρό βάρος. Η τρεχαλόζη είναι επίσης παρούσα σε υψηλές συγκεντρώσεις σε ζυμομύκητες ζύμης αρτοποιίας και ζυθοποιίας. Σε αυτούς τους οργανισμούς, τα επίπεδα της τρεχαλόζης εξαρτώνται από την ηλικία των κυττάρων, καθώς και από το στάδιο ανάπτυξής τους και τη θρεπτική τους κατάσταση. Πολλά άγλη περιέχουν επίσης αυτόν το δισακχαρίτη, αν και σε σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις από εκείνες που βρίσκονται στη ζύμη.

Η τρεχαλόζη βρίσκεται επίσης σε διάφορα διαφορετικά βακτήρια, συμπεριλαμβανομένων των *Streptomyces hygrosopicus* και άλλων ειδών *Streptomyces*, διάφορα μυκοβακτήρια, συμπεριλαμβανομένων των *Mycobacterium megmatitis* και *tuberculosis* και των κορυνοβακτηρίων. Στα μυκοβακτηρίδια και τα κορυνοβακτήρια, αυτός ο δισακχαρίτης παίζει έναν δομικό ρόλο ως συστατικό κυτταρικού τοιχώματος, αλλά μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει άλλες λειτουργίες σε αυτούς τους οργανισμούς. Είναι επίσης παρών σε *Escherichia coli* και ένα πλήθος άλλων βακτηρίων, όπως το *Rhizobium* sp.. Σε πολλούς από αυτούς τους οργανισμούς, η λειτουργία της τρεχαλόζης δεν είναι ακόμη σαφής. Αρκετοί από τους οργανισμούς που παρατίθενται φαίνεται να έχουν μάλλον ασυνήθιστες βιοσυνθετικές οδούς για τη σύνθεση τρεχαλόζης (Elbein, 2003).

Πολλές μελέτες υποδεικνύουν ότι η χρήση τρεχαλόζης ως κρυσταλλοπροστατευτικός παράγοντας έχει ως αποτέλεσμα υψηλά ποσοστά επιβίωσης μικροοργανισμών μετά από διαδικασίες κατάψυξης. Η τρεχαλόζη είναι ένας μη αναγωγικός δισακχαρίτης γλυκόζης και η πιο σημαντική λειτουργία του είναι η προστασία πρωτεϊνών και λιπιδίων που περιλαμβάνονται στη δομή μεμβράνης έναντι διαφορετικών ειδών καταστάσεων στρες, όπως θερμότητα και κατάψυξη-απόψυξη. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης της τρεχαλόζης σε σύγκριση με άλλα σάκχαρα, όπως η σακχαρόζη και η λακτόζη, είναι η ικανότητα δέσμευσης νερού, εμποδίζοντας έτσι το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου και ενδοκυτταρικού πάγου. Επίσης, η τρεχαλόζη είναι σταθερή, άχρωμη, απαλλαγμένη από οσμές, μόνο 45% ως σακχαρόζη και εμποδίζει την αντίδραση Maillard (Facco, 2017).

## 6. Εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας-Χρήση

Ο εγκλεισμός είναι μία διαδικασία που παγιδεύει μία ουσία (ενεργό παράγοντα) σε ένα υλικό τοιχώματος άλλης ουσίας. Η εγκλεισμένη ουσία, μπορεί να ονομαστεί πυρήνας πλήρωσης, ενεργού, εσωτερικού ή ωφέλιμου φορτίου. Η ουσία που ενθυλακώνει τον δραστικό παράγοντα ονομάζεται επίστρωση, μεμβράνη, κέλυφος, κάψουλα, υλικό φορέα, εξωτερική φάση ή μήτρα. Η τεχνολογία εγκλεισμού έχει χρησιμοποιηθεί στους τομείς των τροφίμων για την παροχή υγρών και στερεών συστατικών ως αποτελεσματικό φράγμα κατά περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως οξυγόνο, φως, ελεύθερες ρίζες κλπ. (Desai & Park, 2005).

Η ενθυλάκωση είναι εφαρμόσιμη στη γεωργία, τη διατροφή, τη φαρμακευτική, τη βιοτεχνολογία και την κλωστοϋφαντουργία. Όσον αφορά τη βιομηχανία τροφίμων, τα ενθυλακωμένα προϊόντα έχουν βρει πολλές εφαρμογές για την επικάλυψη χρωστικών ουσιών, γεύσεων, βιταμινών και άλλων ευαίσθητων συστατικών τροφίμων.

Η βιομηχανία τροφίμων εφαρμόζει τη διαδικασία εγκλεισμού για διάφορους λόγους:

- (1) Ο εγκλεισμός μπορεί να προστατεύσει το υλικό του πυρήνα από την υποβάθμιση μειώνοντας την ικανότητα αντίδρασης του στο εξωτερικό του περιβάλλον (π.χ. θερμότητα, υγρασία, αέρα και φωτισμός).
- (2) Η εξάτμιση ή η μεταφορά του υλικού πυρήνα στο εξωτερικό περιβάλλον καθυστερεί.
- (3) Τα φυσικά χαρακτηριστικά του αρχικού υλικού μπορούν να τροποποιηθούν.
- (4) Το προϊόν μπορεί να είναι προσαρμοσμένο ώστε είτε να απελευθερώνεται αργά με την πάροδο του χρόνου ή σε ένα συγκεκριμένο σημείο (δηλ. να ελέγχει την απελευθέρωση του υλικού του πυρήνα).

### *Χαρακτηριστικά υλικών εγκλεισμού*

Η σωστή επιλογή του υλικού εγκλεισμού είναι πολύ σημαντική επειδή επηρεάζει την αποτελεσματικότητα του εγκλεισμού και τη σταθερότητα της μικροκάψουλας. Το ιδανικό υλικό επίστρωσης θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Καλή ρεολογική ιδιότητα με υψηλή συγκέντρωση.

2. Δυνατότητα διασποράς ή γαλακτωματοποίησης του δραστικού υλικού και σταθεροποίηση του παραγόμενου γαλακτώματος.
3. Χημική μη αντιδραστικότητα με τα ενεργά υλικά πυρήνα που πρόκειται να εγκλωβιστούν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.
4. Ικανότητα σφράγισης και συγκράτησης του ενεργού υλικού μέσα στη δομή του κατά την επεξεργασία ή την αποθήκευση.
5. Δυνατότητα πλήρους απελευθέρωσης του διαλύτη ή άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ενθυλάκωσης υπό συνθήκες ξήρανσης.
6. Δυνατότητα παροχής μέγιστης προστασίας στο δραστικό υλικό από περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. οξυγόνο, θερμότητα, φως και υγρασία).
7. Οι διαλύτες θα πρέπει να είναι αποδεκτοί από τη βιομηχανία τροφίμων (π.χ. νερό και αιθανόλη).

### *Υλικά εγκλεισμού*

**Μαλτοδεξτρίνες:** Οι μαλτοδεξτρίνες σχηματίζονται με μερική υδρόλυση του αμύλου αραβοσίτου με οξέα ή ένζυμα και παρέχονται ως ισοδύναμα δεξτρόζης (DEs). Η τιμή DE είναι ένα μέτρο του βαθμού υδρόλυσης πολυμερούς αμύλου. Εκδηλώνουν την ικανότητα να σχηματίζουν μήτρες που είναι σημαντικές στη διαμόρφωση των τοιχωμάτων. Κατά την επιλογή των υλικών τοιχώματος για εγκλεισμό σε κάψουλα, η μαλτοδεξτρίνη είναι ένας καλός συνδυασμός μεταξύ κόστους και αποτελεσματικότητας, καθώς είναι αδύναμος στη γεύση, έχει χαμηλό ιξώδες σε υψηλή αναλογία στερεών και διατίθεται σε διαφορετικά μέσα μοριακά βάρη. Τα κύρια μειονεκτήματά της είναι η έλλειψη ικανότητας γαλακτωματοποίησης και η χαμηλή συγκράτηση πτητικών ενώσεων (Jacquot, 2005).

**Πρωτεΐνες γάλακτος:** Οι υδροπηκτές πρωτεΐνες είναι γενικά αποδεκτές ως κατάλληλα υλικά για μικροεγκλεισμούς σε εφαρμογές τροφίμων, ιδιαίτερα σε υγρές και ημιστερεές τροφές. Έχουν το πλεονέκτημα να αναπτύσσουν μήτρες ελεγχόμενων μεγεθών χωρίς καμία δυσμενή επίδραση στις οργανοληπτικές ιδιότητες της παρασκευαζόμενου τροφίμου. Επίσης, οι πρωτεΐνες έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν, να προστατεύουν και να αναστρέφουν τη σύνδεση με ένα ευρύ φάσμα δραστικών ενώσεων μέσω των λειτουργικών τους ομάδων.

Επιπλέον, μπορεί να έχουν επιθυμητές σταθεροποιητικές επιδράσεις στην υφή των τροφίμων.

Οι μοναδικές λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του γάλακτος είναι καλά τεκμηριωμένες και είναι παγκοσμίως εγκεκριμένες ως συστατικό τροφίμων. Ως εκ τούτου, οι πρωτεΐνες του γάλακτος θεωρήθηκαν ως καλές επιλογές για νανο- και μικροενθυλάκωση καρυκευμάτων και προβιοτικών βακτηρίων. Εκτός από τα γενικά πλεονεκτήματα των υδροπηκτών πρωτεϊνών, οι πρωτεΐνες γάλακτος έχουν αρκετά ειδικά πλεονεκτήματα στον εγκλεισμό τροφίμων.

Ένας μεγάλος αριθμός διαφοροποιημένων προϊόντων πρωτεΐνης γάλακτος διατίθενται στο εμπόριο. Αυτά τα προϊόντα έχουν διαφορετική σύνθεση, πρωτεϊνική περιεκτικότητα και λειτουργικές ιδιότητες όπως πρωτεΐνη πλήρους γάλακτος, καζεϊνικά άλατα, β-καζεΐνη, συμπυκνώματα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (WPC), β-λακτοσφαιρίνη και πλούσια σε α-λακταλβουμίνη (α-LA) κλάσματα. Αυτό προσφέρει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την ενθυλάκωση σε πρωτεΐνες γάλακτος.

Η φύση και οι συνθήκες σχηματισμού πηκτώματος είναι βασικοί παράγοντες για τον επιτυχή μικροεγκλεισμό των ζωντανών βακτηρίων. Οι πρωτεΐνες γάλακτος μπορούν να σχηματίσουν πηκτές μέσω διαφόρων μηχανισμών υπό ήπιες συνθήκες. Αυτό προσφέρει διαφορετικές επιλογές για την επιτυχή χρήση των πρωτεϊνών του γάλακτος σε μικροεγκλεισμούς ζωντανών βακτηρίων (Abd El-Salam, 2015).

**Κυκλοδεξτρίνες:** Οι κυκλοδεξτρίνες (CyDs) είναι κυκλικοί υδατάνθρακες που προέρχονται από άμυλο. Τα γονικά CyDs περιέχουν έξι, επτά και οκτώ μονάδες γλυκοπυρανόζης και αναφέρονται ως α-, β- και γ-CyD, αντίστοιχα. Η πιο σημαντική ιδιότητα των CyDs είναι η ικανότητα να εκτελούν συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις – μοριακούς εγκλεισμούς - με διάφορους τύπους μορίων μέσω του σχηματισμού μη ομοιοπολικά συνδεδεμένων τμημάτων, είτε στη στερεή φάση είτε σε υδατικό διάλυμα. Αυτοί οι παράγοντες νανο-εγκλεισμού μπορούν να σχηματίσουν σύμπλοκα εγκλεισμού με αιθέρια έλαια και πτητικά συστατικά, προκειμένου να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά τους, όπως μετασχηματισμό υγρών ενώσεων σε κρυσταλλική μορφή, καλύπτοντας δυσάρεστες μυρωδιές και γεύσεις ορισμένων ενώσεων, βελτίωση της φυσικής ή / και χημικής σταθερότητας και σταθεροποίηση πτητικών ενώσεων με μείωση ή εξάλειψη τυχόν απωλειών μέσω εξάτμισης. Η συμπλοκοποίηση έχει χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η καταστροφή ορισμένων αρωμάτων με επεξεργασία ή, κατά την αποθήκευση, επιτρέποντας τη χρήση μικρών ποσοτήτων γευστικών ουσιών. Το φιλοξενούμενο μόριο απελευθερώνεται στη ζεστή υγρασία του στόματος. Παραδείγματα είναι τα μπαχαρικά, αιθέρια έλαια φυτικής προέλευσης και γεύσεις φυτών, έλαιο χαμομηλιού και εκχύλισμα, έλαιο



ευκάλυπτου, έλαιο μάραθου, έλαιο λεμονιού, κρεμμύδι και σκόρδο, καμφορά, μενθόλη, θυμόλη κλπ. (Marques, 2010).

## 6.1. Διαδικασία εγκλεισμού

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνικές για την ενθυλάκωση των ενώσεων τροφίμων. Έχουν προταθεί πολλές διαδικασίες ενθυλάκωσης, αλλά καμία από αυτές δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μία γενικά εφαρμόσιμη διαδικασία για τα βιοενεργά συστατικά τροφίμων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μεμονωμένα βιοδραστικά συστατικά τροφίμων έχουν τη δική τους χαρακτηριστική μοριακή δομή. Δεδομένου ότι οι ενώσεις ενθυλάκωσης είναι πολύ συχνά σε υγρή μορφή, πολλές τεχνολογίες βασίζονται στην ξήρανση. Διαφορετικές τεχνικές, όπως η ξήρανση με ψεκασμό, η επικάλυψη υγρής κλίνης και η ξήρανση με ψύξη, είναι διαθέσιμες για την ενθυλάκωση δραστικών παραγόντων (Sohini, 2015).

### 6.1.1. Ξήρανση με ψεκασμό

Η ξήρανση με ψεκασμό είναι η παλαιότερη και η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική εγκλεισμού στον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων. Είναι μία ευέλικτη, συνεχής αλλά πιο σημαντική οικονομική λειτουργία. Η ενθυλάκωση με ξήρανση με ψεκασμό φαίνεται να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος, λόγω των πλεονεκτημάτων της. Μπορούν να ληφθούν εξαιρετικές ιδιότητες της προστασίας, της σταθεροποίησης, της διαλυτότητας και της ελεγχόμενης απελευθέρωσης των βιοδραστικών ενώσεων (Zuidam & Heinrich, 2009). Για την ξήρανση με ψεκασμό χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι παραγόντων εγκλεισμού. Αυτοί περιλαμβάνουν πολυσακχαρίτες (άμυλα, μαλτοδεξτρίνες, αραβικό κόμμι), λιπίδια (στεατικό οξύ, μονοαδιδυκερίδια) και πρωτεΐνες (ζελατίνη, καζεΐνη, ορός γάλακτος και σόγια) (Sohini, 2015).

### 6.1.2. Λυοφιλοποίηση / ξήρανση με ψύξη

Η λυοφιλοποίηση είναι η πλέον κατάλληλη τεχνική για την αφυδάτωση όλων των θερμικά ευαίσθητων υλικών και επίσης για την μικροενθυλάκωση (Desai & Park, 2005). Είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται για την αφυδάτωση σχεδόν όλων των θερμικά ευαίσθητων υλικών και αρωμάτων. Οι εργασίες λυοφιλοποίησης ξεκινούν με την κατάψυξη του υλικού και στη συνέχεια τη μείωση της πίεσης γύρω από το περιβάλλον και την προσθήκη αρκετής θερμότητας, ώστε το κατεψυγμένο νερό στο υλικό να περάσει άμεσα από τη στερεή φάση στην αέρια φάση. Είναι μία

διαδικασία που σταθεροποιεί τα υλικά μέσω τεσσάρων κύριων λειτουργιών όπως η κατάψυξη, η εξάχνωση, η εκρόφηση και τελικά η αποθήκευση (Mascarenhas, Akay & Pikal, 1997). Η ξήρανση με ψύξη είναι μία διαδικασία ξήρανσης για τη μακροπρόθεσμη διατήρηση ευαίσθητων στη θερμότητα τροφίμων και άλλων βιολογικών υλικών. Η επιτυχής διαδικασία ξήρανσης με ψύξη διατηρεί τις περισσότερες από τις αρχικές ιδιότητες του πρώτου υλικού, όπως το σχήμα, οι διαστάσεις, η εμφάνιση, η γεύση, το χρώμα, η γεύση, η υφή και η βιολογική δραστηριότητα. Η αποτελεσματικότητα της προστασίας ή της ελεγχόμενης απελευθέρωσης εξαρτάται κυρίως από τη σύνθεση και τη δομή του υλικού τοιχώματος. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά τοιχώματος είναι το αραβικό κόμμα, η μαλτοδεξτρίνη, η πρωτεΐνη ορού γάλακτος κλπ. Τα κύρια μειονεκτήματα της ξήρανσης με κατάψυξη είναι η υψηλή εισροή ενέργειας και ο μεγάλος χρόνος επεξεργασίας. Εκτός από την απαιτούμενη μακρά περίοδο αφυδάτωσης (γενικά 20h), η ξήρανση με κατάψυξη είναι μία απλή τεχνική για την ενθυλάκωση ευαίσθητων υλικών, φυσικών αρωμάτων, καθώς και φαρμάκων (Zhongxiang, 2010).

### *6.1.3. Επίστρωση ρευστοποιημένου στρώματος*

Η επικάλυψη υγρής κλίνης είναι μία τεχνική εγκλεισμού όπου μία επικάλυψη εφαρμόζεται σε σωματίδια κόνεως. Η επικάλυψη ρευστοποιημένου στρώματος είναι μία διαδικασία με την οποία τα επικαλυμμένα σωματίδια παράγονται ψεκάζοντας έναν παράγοντα εγκλεισμού σε μία κλίνη ρευστοποιημένης σκόνης. Η μεταβολή των μεταβλητών στην επικάλυψη ρευστοποιημένης κλίνης, όπως η ταχύτητα στερεής κυκλοφορίας και η πίεση του ακροφυσίου, ο ρυθμός τροφοδοσίας και η θερμοκρασία επικάλυψης είναι σημαντικοί, δεδομένου ότι έχουν αντίκτυπο στη συσσωμάτωση και τη σχηματοποίηση φιλμ των σωματιδίων, επηρεάζοντας την αποτελεσματικότητα της επικάλυψης. Για το λόγο αυτό, η βελτιστοποίηση των διαδικασιών επικάλυψης που χρησιμοποιούν τεχνολογία ρευστοποιημένου στρώματος εξαρτάται από την αξιολόγηση της επίδρασης των συνθηκών επεξεργασίας. Υπάρχουν διαφορετικά υλικά επικάλυψης για επικάλυψη με στρώματα, όπως - κόμμεα, πρωτεΐνες και άμυλα. Η επίστρωση με κλίνη τροφοδοτεί όλο και περισσότερο την βιομηχανία τροφίμων με μία ευρεία ποικιλία εγκλεισμένων συστατικών τροφίμων και προσθέτων. Οι διάφορες μέθοδοι επικάλυψης ρευστοποιημένης κλίνης είναι:

- ψεκασμός κορυφής,
- ψεκασμός πυθμένα και
- εφαπτόμενος ψεκασμός.

Οι διαφορετικές μεταβλητές που πρέπει να ελέγχονται στη λειτουργία ρευστοποιημένης κλίνης είναι: α) μεταβλητές διεργασίας (θερμοκρασία εισόδου

αέρα, ταχύτητα αέρα, ταχύτητα ψεκασμού και πίεση ψεκασμού), β) μεταβλητές περιβάλλοντος (θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα, σχετική υγρασία περιβάλλοντος), γ) θερμοδυναμικές μεταβλητές (υγρασία).

Η επιβίωση μικροοργανισμών μετά τον εγκλεισμό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η υπολειμματική υγρασία, η θερμοκρασία, τα χαρακτηριστικά της κυτταρικής μεμβράνης και η μορφολογία των κυττάρων. Η απομάκρυνση του ενδοκυτταρικού νερού κατά τη διάρκεια της ξήρανσης χωρίς να καταστραφεί η κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών είναι ένα σημαντικό και ευαίσθητο έργο. Εκλειστικά μέσα όπως το αλγινικό, η ζελατίνη, τα συνθετικά πολυμερή και οι πρωτεΐνες βοηθούν στη διατήρηση της ακεραιότητας της κυτταρικής μεμβράνης κατά την ξήρανση. Αφού ξηρανθούν υπό κατάλληλες συνθήκες, οι μικροοργανισμοί μπορούν να παραμείνουν βιώσιμοι για μεγάλο χρονικό διάστημα εφόσον αποθηκεύονται υπό κατάλληλες συνθήκες. Έτσι, η προετοιμασία μίας βιώσιμης μικροβιακής καλλιέργειας που είναι σταθερή και οικονομικά επαρκής για χρήση σε εφαρμογές περιβάλλοντος και τροφίμων εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση (Sohini, 2015).

## 6.2. Χρήση εγκλεισμένης μαγιάς – φρέσκο/κατεψυγμένο ζυμάρι

Η ζύμη (*S. cerevisiae*) είναι ένας μονοκύτταρος, ευκαρυωτικός μικροοργανισμός, ταξινομημένος στο βασίλειο των μυκήτων με μέγεθος που κυμαίνεται από 3 έως 40 μm. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος βλαστικής ανάπτυξης στη ζύμη είναι η αναπαραγωγή με εκβλάστηση. Οι χρήσιμες φυσιολογικές ιδιότητες της ζύμης οδήγησαν στη χρήση της στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών και της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τα είδη ζύμης μπορούν επίσης να είναι βιοαπορροφητικά για τα βαρέα μέταλλα και για τους τοξικούς ρύπους καθώς και τα κράματα μετάλλων από βιομηχανικά απόβλητα (Chandralekha, 2015).

Η μαγιά είναι ένας ζωντανός οργανισμός που είναι ευαίσθητος στο περιβάλλον του. Η έκθεση της ζύμης, για παράδειγμα, σε υγρασία, μπορεί να την αποσταθεροποιήσει. Λόγω της παρουσίας υγρασίας, η ζύμη αρχίζει να ενεργοποιείται και να παράγει διοξείδιο του άνθρακα ενώ παραμένει στη συσκευασία. Κατά συνέπεια, όταν η συσκευασία είναι έτοιμη για χρήση από τον καταναλωτή, το επίπεδο δραστηριότητας της ζύμης είναι ανεπαρκές για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που απαιτείται για την πλήρη επέκταση της κυτταρικής δομής του ζυμαριού. Έτσι, δεδομένου ότι το ζυμάρι δεν αυξάνεται επαρκώς, το προκύπτον ψημένο προϊόν είναι οργανοληπτικά κατώτερο. Μία προσέγγιση για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι να προστεθεί απευθείας

η ζύμη από τον καταναλωτή. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ορισμένες ασυνέπειες και ασταθείς επιδόσεις λόγω κακής διαχείρισης των καταναλωτών.

Ένα συνεχιζόμενο πρόβλημα με τη χρήση κατεψυγμένων ζυμαριών με αυτό τον τρόπο είναι ότι τα κατεψυγμένα ζυμαρία χαλαρώνουν και υποβαθμίζονται κατά την παρατεταμένη αποθήκευση, με αποτέλεσμα μεγαλύτερους χρόνους κλιβανισμού, μειωμένους όγκους ψησίματος και φτωχότερους κόκκους και υφή. Αν και αυτά τα προβλήματα οφείλονται εν μέρει στις μειωμένες ιδιότητες συγκράτησης αερίου του κατεψυγμένου ζυμαριού, προκαλούνται επίσης, σε σημαντικό βαθμό, από τη μειωμένη βιωσιμότητα και τη δραστικότητα της ζύμης.

Πολλές τεχνικές προσεγγίσεις για την αντιστάθμιση αυτής της απώλειας βιωσιμότητας της ζύμης έχουν δοκιμαστεί με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα διαφόρων υλικών φορέων κατά τον εγκλεισμό της ζύμης (μαγιάς) με ξήρανση με κατάψυξη. Η εργασία αφορούσε την απόδοση σκόνης της ξηρής μαγιάς, την κυτταρική επιβίωση αλλά και τη χρήση αυτής σε αρτοσκευάσματα με σκοπό τη σταθερότητα και την καλύτερη διατηρησιμότητα κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη.



## ΜΕΡΟΣ ΙΙ

### 7. Πειραματικό μέρος

#### 7.1. Σκοπός

Τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν ο εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας, η χρήση της εγκλεισμένης μαγιάς σε φρέσκα και κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα αλλά και η ενσωμάτωση τρεχαλόζης στον εγκλεισμό της μαγιάς και η χρήση της και πάλι σε φρέσκα και κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα. Η επιλογή των πρώτων υλών αλλά και των συνθηκών της πειραματικής διαδικασίας έγινε μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση και διενέργεια προκαταρκτικών πειραμάτων.

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση των διαφορετικών εγκλειστικών μέσων της μαγιάς αρτοποιίας και η εύρεση της κατάλληλης αναλογίας ώστε τα αρτοσκευάσματα να διατηρούν τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των αντίστοιχων ζυμαριών υπό κατάψυξη.

## 7.2. Υλικά, μέθοδοι, πρώτες ύλες, αντιδραστήρια, όργανα συσκευές

Τα υλικά, οι συσκευές και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής αυτής εργασίας περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

### 7.2.1. Πρώτες ύλες

Για την παρασκευή των δειγμάτων φρέσκου και κατεψυγμένου άρτου, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- Αλεύρι σίτου (λευκό) T.70% (χορηγία των μύλων Αυλίδας)
- Κρυσταλλική ζάχαρη (εμπορικής προέλευσης)
- Ιωδιούχο αλάτι (εμπορικής προέλευσης)
- Νωπή μαγιά αρτοποιίας (εμπορικής προέλευσης)
- Μαλτοδεξτρίνη
- Πρωτεΐνη ορού γάλακτος
- Κυκλοδεξτρίνη
- Τρεχαλόζη

### 7.2.2. Συσκευές και όργανα

Κατά την παρασκευή και αποθήκευση των δειγμάτων άρτου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα:

- Ηλεκτρονικός ζυγός (620C της Precisa Instruments)
- Ηλεκτρικό μίξερ (Kenwood Chef KM400)
- Ξηραντήρας με ψύξη
- Χρονόμετρο
- Θάλαμος σταθερής θερμοκρασίας (Sanyo MIR-153)
- Κλίβανος (Thermawatt TG103)
- Καταψύκτης (Whirlpool AFG 543-C/H)

Για τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες συσκευές:

- Αναλυτής υφής TA-XT2 (Stable Micro Systems) με τα στελέχη SMSP / 45C (κώνος), SrisP / 75 (κύλινδρος) και TA-45 Craft knife (κοπίδι)
- Χρωματόμετρο CR-200 (Konica-Minolta)

## 8. Πειραματική διαδικασία

### 8.1. Εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας

Για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας χρησιμοποιήθηκαν 3 διαφορετικά εγκλειστικά μέσα (φορείς), μαλτοδεξτρίνη, σκόνη ορού γάλακτος (sweet whey), κυκλοδεξτρίνη και συνδυασμοί αυτών. Για τον εγκλεισμό παρασκευάστηκε διάλυμα με προσθήκη 10% (β/ο) υλικού φορέα μαζί με 5% (β/ο) νωπή μαγιά σε 300 mL απεσταγμένο νερό. Το εναιώρημα αναμίχθηκε για 5 min σε ένα μαγνητικό αναδευτήρα και αδειάστηκε σε τρυβλία που οδηγήθηκαν σε ξήρανση υπό κατάψυξη. Ύστερα από μία ημέρα παραμονής υπό κατάψυξη, το υλικό που βρισκόταν στα τρυβλία υποβλήθηκε σε ξήρανση με κατάψυξη. Μετά το πέρας της διαδικασίας της ξήρανσης υπό κατάψυξη, το προϊόν του εγκλεισμού που βρισκόταν στα τρυβλία υπέστη κονιοποίηση με χρήση γουδιού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων.

### 8.2. Παρασκευή ζυμαριού

Οι ποσότητες των συστατικών όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 8.1., ζυγισμένες με ακρίβεια 0,1 g εισάγονται στον κάδο του αναμίκτη, όπου και αναμιγνύονται για 2 min σε χαμηλή ταχύτητα (ταχύτητα 2) και για άλλα 8 min στη μεσαία ταχύτητα (ταχύτητα 4), οπότε και το ζυμάρι έχει πλέον σχηματιστεί. Έπειτα, το ζυμάρι χωρίζεται σε δείγματα των  $80 \pm 0,02$  g, τα οποία μορφοποιούνται με τα χέρια ώστε να αποκτήσουν σφαιρικό σχήμα. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνται σε κατάλληλες χάρτινες φόρμες μίας χρήσης.

Πίνακας 8.1. Αναλογίες συστατικών ζυμαριού

Συστατικό	Ποσότητα/παρτίδα (g)
<b>Αλεύρι</b>	300
<b>Αλάτι</b>	6
<b>Ζάχαρη</b>	12
<b>Νερό</b>	160
<b>Μαγιά</b>	10



### 8.3. Επεξεργασία ζυμαριού – Παρασκευή άρτου

Αμέσως μετά το σχηματισμό τους, τα δείγματα τοποθετούνται σε θάλαμο θερμοκρασίας 40° C για ωρίμανση\διόγκωση, όπου και παραμένουν για 30 min. Στη συνέχεια εισάγονται σε κλίβανο, με παροχή αέρα, θερμοκρασίας 200° C, για 20 min. Μετά τον κλιβανισμό, τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για 45 min, ώστε να ψυχθούν.

### 8.4. Αποθήκευση δειγμάτων υπό κατάψυξη

Στην περίπτωση των δειγμάτων ζυμαριού που πρόκειται να αποθηκευτούν υπό κατάψυξη, οι φόρμες που περιέχουν τα δείγματα τυλίγονται με πλαστική μεμβράνη κατάλληλη για χρήση σε τρόφιμα και τα δείγματα και αποθηκεύονται σε καταψύκτη θερμοκρασίας -18° C για συγκεκριμένο κάθε φορά χρονικό διάστημα. Για τη μελέτη των ζυμαριών υπό κατάψυξη παρασκευάζονται παρτίδες στις οποίες η μαγιά που έχει χρησιμοποιηθεί είναι εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη, κυκλοδεξτρίνη, ορό γάλακτος αλλά και σε συνδυασμούς αυτών μεταξύ τους. Για κάθε εγκλειστικό μέσο παρασκευάζονται 6 παρτίδες. Η δειγματοληψία, αρχικά, γίνεται ανά πυκνότερα χρονικά διαστήματα, επειδή ο ρυθμός της υποβάθμισης των δειγμάτων, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα, είναι υψηλότερος τις πρώτες ημέρες της αποθήκευσης υπό κατάψυξη. Οι δειγματοληψίες συγκεκριμένα γίνονται την 1<sup>η</sup>, την 7<sup>η</sup>, τη 15<sup>η</sup> και την 30<sup>η</sup> ημέρα κατάψυξης. Τα δείγματα προς εξέταση λαμβάνονται από τον καταψύκτη και τοποθετούνται σε θάλαμο θερμοκρασίας 40° C, όπου και παραμένουν για 90 min, προκειμένου να αποψυχθούν και να διογκωθούν. Στη συνέχεια, όπως και στην περίπτωση των φρέσκων δειγμάτων, εισάγονται σε κλίβανο με παροχή αέρα, θερμοκρασίας 200° C, για 20 min. Μετά τον κλιβανισμό, τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για 45 min, ώστε να ψυχθούν.

### 8.5. Μετρήσεις στο ζυμάρι και στα αρτοσκευάσματα

Αμέσως μετά τον σχηματισμό των αρτοσκευασμάτων, ένα δείγμα ζυμαριού υποβάλλεται σε ανάλυση υφής, ενώ τα υπόλοιπα τοποθετούνται στο θάλαμο ωρίμανσης. Μετά το πέρας του σταδίου της διόγκωσης, λαμβάνεται και πάλι ένα δείγμα ζυμαριού από το θάλαμο ωρίμανσης ένα δείγμα ζυμαριού, προκειμένου να υποβληθεί σε ανάλυση υφής, ενώ τα υπόλοιπα εισάγονται στον κλίβανο. Αφού τα αρτοσκευάσματα κρυσώσουν και φτάσουν σε θερμοκρασία δωματίου, διενεργούνται μετρήσεις των ακόλουθων χαρακτηριστικών τους: όγκος, υφή, χρώμα και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

### 8.6. Μέτρηση όγκου αρτοσκευασμάτων

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του όγκου είναι η εμπειρική μέθοδος εκτόπισης σπόρων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα ποτήρι ζέσεως των 600 mL, το οποίο αρχικά γεμίζεται με σπόρους σιναπιού οι οποίοι είναι μικροί, σφαιρικοί και συμμετρικοί. Αφαιρείται μία ποσότητα αυτών, τοποθετείται το δείγμα στο εσωτερικό του ποτηριού και συμπληρώνονται τα κενά με όσους σπόρους απαιτούνται ακόμη. Οι εναπομείναντες σπόροι ογκομετρούνται με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου 250 mL και έτσι προκύπτει ο όγκος του δείγματος (V). Σε κάθε παρτίδα ογκομετρούνται 3 δείγματα σε καθένα από τα οποία πραγματοποιούνται 3 επαναλήψεις.

### 8.7. Μέτρηση χρώματος κόρας και ψίχας αρτοσκευασμάτων

Η ανάλυση του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του χρωματόμετρου CR-200 της εταιρείας Konica-Minolta. Το συγκεκριμένο χρωματόμετρο φέρει στο άκρο του οπή διαμέτρου 8 mm και αποδίδει τις τιμές των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , βάσει του συστήματος CIELAB, όπως αυτές μετρώνται στην επιφάνεια του δείγματος. Αρχικά, πριν πραγματοποιηθεί κάποια μέτρηση, προηγείται βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια λευκής πλάκας (Calibration plate:  $L^*=97,50$ ,  $a^*=-0,31$ ,  $b^*=-3,83$ ) προς αποφυγήν λανθασμένων μετρήσεων. Σε κάθε δείγμα λαμβάνονται τρεις μετρήσεις του χρώματος της κόρας και άλλες τρεις μετρήσεις του χρώματος της ψίχας. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων προκύπτουν από το μέσο όρο των τριών μετρήσεων.

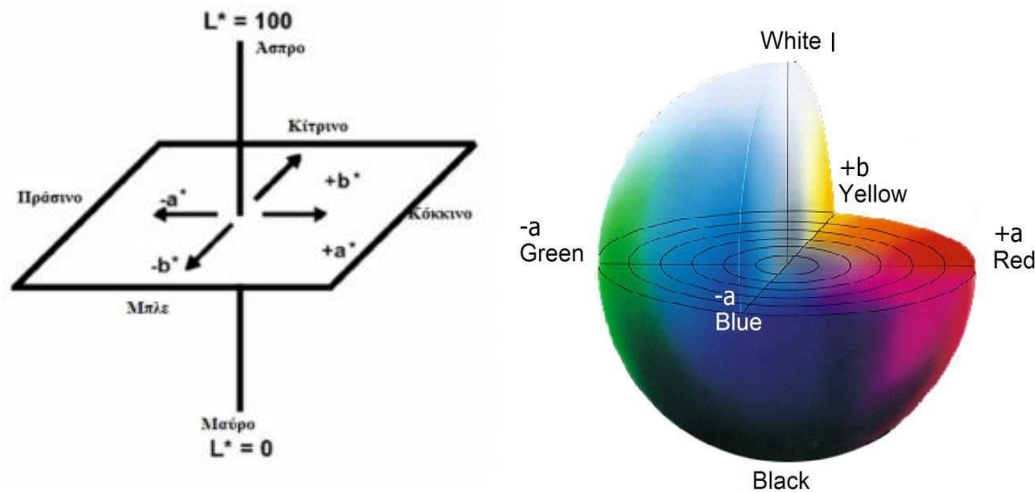
### Σύστημα Cielab

Το σύστημα Cielab (Commission International de l'Eclairage Lab) απεικονίζεται από μία σφαίρα που περιλαμβάνει όλο το φάσμα του ορατού φωτός. Η σφαίρα αποτελείται από τρεις κάθετους μεταξύ τους άξονες με καρτεσιανές συντεταγμένες. Ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει τη φωτεινότητα του χρώματος (παράμετρος  $L^*$ ) σε κλίμακα από 0 έως 100, αντιπροσωπεύοντας το μαύρο και το άσπρο, αντίστοιχα. Οι άλλοι δύο άξονες ορίζουν το επίπεδο του χρώματος. Ο άξονας που αντιστοιχεί στην παράμετρο  $a^*$  εκφράζει την κόκκινη/πράσινη συνιστώσα του χρώματος (αρνητικές τιμές τείνουν προς το πράσινο, ενώ θετικές τιμές τείνουν προς το κόκκινο), ενώ ο άξονας που αντιστοιχεί στην παράμετρο  $b^*$  εκφράζει την μπλε/κίτρινη συνιστώσα του χρώματος (αρνητικές τιμές τείνουν προς το μπλε, ενώ θετικές τιμές τείνουν προς το κίτρινο). Αν ένα δείγμα έχει μηδενική τιμή για τις παραμέτρους  $a^*$  και  $b^*$ , τότε το σημείο στο οποίο αντιστοιχεί το χρώμα του βρίσκεται πάνω στον άξονα άσπρου – μαύρου. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε ένα σημείο εντός της σφαίρας και

εκφράζεται ως διάνυσμα  $\Delta E$  με αυτές τις τρεις συνιστώσες. Έτσι, από τις τιμές των παραμέτρων αυτών υπολογίζεται η συνολική μεταβολή της οπτικής απόκρισης  $\Delta E$ , αλλά και η συνολική μεταβολή του χρώματος  $\Delta C$ . Οι τιμές τους υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

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

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



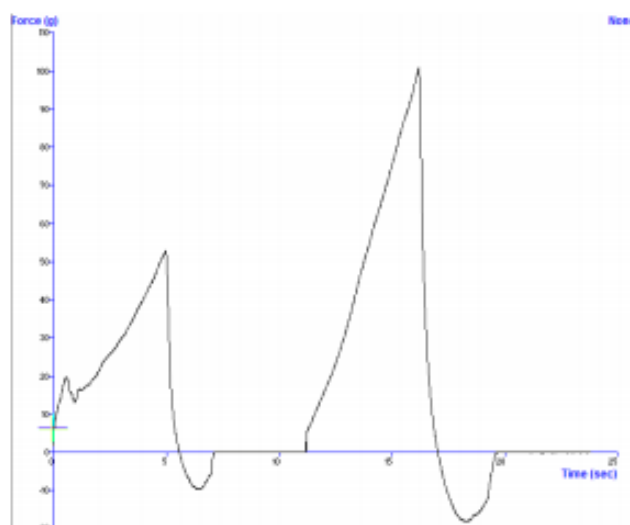
Εικόνα 8.1. Σύστημα Cielab

### 8.8. Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής ζυμαριού

Η ανάλυση υφής γίνεται με τη χρήση του αναλυτή υφής TA-XT2 (StableMicro Systems), ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το εκάστοτε δείγμα υφίσταται συμπίεση (ταχύτητα διείδυσης 3 mm/s, βάθος διείδυσης 15 mm), που λαμβάνει χώρα σε δύο κύκλους, με ειδικό στέλεχος κυλινδρικού σχήματος. Πριν την έναρξη των μετρήσεων γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση πρότυπου βάρους 1 kg. Λαμβάνονται 3 μετρήσεις από κάθε δείγμα. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων δημιουργήθηκε ειδικό πρόγραμμα συμπίεσης στη βάση δεδομένων του αναλυτή υφής, του οποίου οι παράμετροι παρουσιάζονται στον πίνακα 8.2. Το διάγραμμα που προκύπτει έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 8.2. Η μέγιστη δύναμη κατά την πρώτη διείδυση δίνει τη ζητούμενη σκληρότητα.

Πίνακας 8.2. Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στο ζυμαρί

Παράμετρος	Τιμή
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	15,00 mm
Count	2
Trigger Type	Auto (Force)
Trigger Force	5,0 g



Εικόνα 8.2. Διάγραμμα συμπίεσης ζυμαριού

### 8.9. Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής αρτοσκευασμάτων

Για την ανάλυση υφής των αρτοσκευασμάτων χρησιμοποιούνται δύο παρόμοια δείγματα. Η πρώτη μέτρηση λαμβάνεται με τη χρήση του στελέχους TA-45 Craftknife και προσομοιάζει την κοπή του άρτου με μαχαίρι. Το δείγμα τοποθετείται ολόκληρο στην ειδική επιφάνεια του αναλυτή και μέσω του προσαρτημένου στελέχους εφαρμόζεται κατακόρυφη πίεση η οποία συνεπάγεται την κοπή του δείγματος. Η κοπή εκτελείται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή από την εξωτερική επιφάνεια της κόρας προς την ψίχα του αρτοσκευάσματος, ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές και συγκρίσιμες μεταξύ τους. Στη συνέχεια το δείγμα κόβεται στη μέση και τοποθετείται κατάλληλα στην ειδική επιφάνεια, ώστε η κοπή να λαμβάνει χώρα από το εσωτερικό του δείγματος (ψίχα) προς το εξωτερικό (κόρα). Η διαδικασία είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως. Τέλος, το άλλο δείγμα κόβεται κατάλληλα, με χρήση διπλού μαχαιριού, ώστε να προκύψει μία φέτα αυτού σταθερού πάχους 1 cm, προκειμένου οι μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες κάθε φορά. Στη φέτα αυτή εφαρμόζεται διπλή συμπίεση με τη χρήση κυλίνδρου, προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης. Το στέλεχος που χρησιμοποιείται είναι το SrisP/75. Πριν την έναρξη των μετρήσεων, όπως και παραπάνω, γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου.

Πίνακας 8.3. Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στα αρτοσκευάσματα (κοπή)

Παράμετρος	Τιμή
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	10,00 mm
Trigger Type	Auto(Force)
Trigger Force	5,0 g

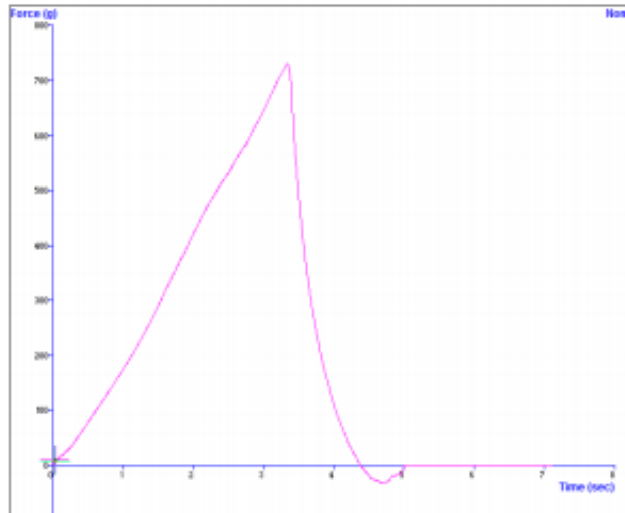
Σε κάθε περίπτωση καταγράφεται η ασκούμενη δύναμη σε συνάρτηση με το χρόνο. Για κάθε δείγμα έγιναν τρεις ανεξάρτητες μετρήσεις σε κεντρικά σημεία

αυτού. Για κάθε είδος μετρήσεων δημιουργήθηκε ειδικό πρόγραμμα κοπής ή συμπίεσης, αντίστοιχα, στη βάση δεδομένων του αναλυτή υφής. Οι τιμές των παραμέτρων παρουσιάζονται στους πίνακες.

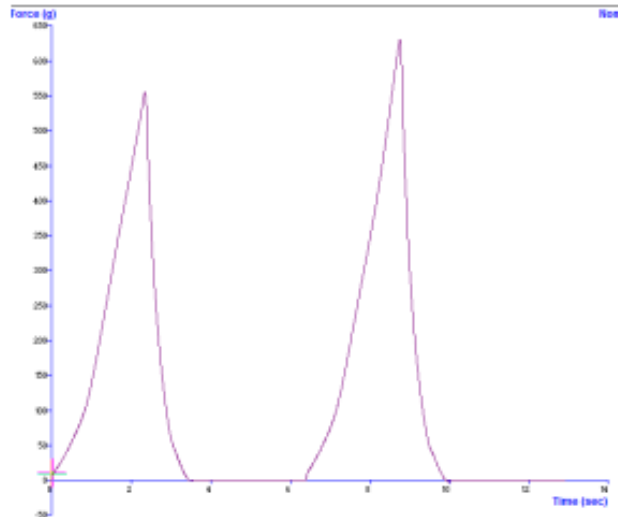
Πίνακας 8.4. Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στα αρτοσκευάσματα (συμπίεση)

<b>Παράμετρος</b>	<b>Τιμή</b>
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	7,0 mm
Count	2
Trigger Type	Auto(Force)
Trigger Force	5,0 g

Από κάθε μέτρηση προκύπτει ένα διάγραμμα δύναμης – χρόνου, το οποίο μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού του αναλυτή υφής (Texture Expert Exceed). Ταυτόχρονα, καταγράφεται η σκληρότητα, όπως αυτή προκύπτει από το διάγραμμα. Η τελική τιμή προκύπτει από το μέσο όρο των τριών μετρήσεων που πραγματοποιούνται. Μέσω της κοπής του δείγματος και της συμπίεσης της φέτας προσδιορίζεται η σκληρότητα του άρτου με δύο εναλλακτικούς τρόπους. Το διάγραμμα κοπής έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 8.3. Η μέγιστη δύναμη είναι η ζητούμενη σκληρότητα. Αντίστοιχα, το διάγραμμα συμπίεσης έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 8.4. και η μέγιστη δύναμη κατά την πρώτη διείδυση είναι η ζητούμενη σκληρότητα.



Εικόνα 8.3. Διάγραμμα κοπής αρτοσκευασμάτων



Εικόνα 8.4. Διάγραμμα συμπίεσης αρτοσκευασμάτων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τον αναλυτή υφής χρησιμοποιήθηκαν επίσης για να υπολογιστούν τα παρακάτω μεγέθη:

Συνεκτικότητα: ο λόγος του εμβαδού κατά τη 2<sup>η</sup> διείδυση προς το εμβαδό της 1<sup>ης</sup> διείδυσης

Κομμώδες: σκληρότητα \* συνεκτικότητα

Ελαστικότητα: ο χρόνος μεταξύ του τέλους της 1<sup>ης</sup> και της αρχής της 2<sup>ης</sup> διείδυσης

Μασητικότητα: κομμώδες \* ελαστικότητα

#### 8.10. Εκτίμηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των δειγμάτων (φρέσκα ή κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα) πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο κατά ISO 17025 Εργαστήριο Οργανοληπτικών Δοκιμών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ από εκπαιδευμένους δοκιμαστές, οι οποίοι αξιολογούσαν χωριστά τα δείγματα, σε ειδικά σχεδιασμένους και κατάλληλα φωτισμένους θαλάμους. Προκειμένου να εξασφαλίζονται σταθερές συνθήκες κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών, η θερμοκρασία του χώρου διατηρείται σε ευχάριστα για τους δοκιμαστές επίπεδα (20-25° C) και χρησιμοποιούνται κάθε φορά παρόμοια σκεύη κωδικοποιημένα με τυχαίους τριψήφιους αριθμούς. Κατά τη διάρκεια του οργανοληπτικού ελέγχου, τα αρτοσκευάσματα μοιράζονται στους δοκιμαστές μαζί με τα αντίστοιχα έντυπα. Μεταξύ των δειγμάτων οι δοκιμαστές εκπλένουν το στόμα τους με νερό. Για την καλύτερη και πληρέστερη εκτίμηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, ο έλεγχος έγινε από 4–9 δοκιμαστές, εκπαιδευμένους στην αναγνώριση και την αξιολόγηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών με χρήση της ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης (Quantitative Descriptive Analysis, QDA).



ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗ

Δοκιμή: Ποσοτική Περιγραφική

Προϊόντα: Άρτος

Χαρακτηριστικό			
Όγκος			
Χρώμα κόρας			
Σχήμα Φόρμας			
Ελαττώματα			
Υφή στο χέρι	Κανονική		
	Σκληρή		
	Κολλώδης		
	Εύθρυπτη		
Εμφάνιση	Ραβδώσεις		
Ψίχας	Τρύπες		
Χρώμα ψίχας			
Γεύση/Αρωμα			
Υφή στο στόμα			
Μετάγευση			
Συνολική αρέσκεια			
Παρατηρήσεις			

Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων έγινε με χρήση 10-βάθμιας κλίμακας (1–10). Οι τιμές βαθμολόγησης σημειώνονταν στο ειδικό έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, οι δοκιμαστές κλήθηκαν να σημειώσουν και προσωπικές κρίσεις σε περίπτωση που οι αναγραφόμενοι στο έντυπο περιγραφικοί όροι δεν επαρκούσαν για να χαρακτηρίσουν τα εξεταζόμενα δείγματα. Το έντυπο που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται παραπάνω.

## 9. Σχεδιασμός πειραμάτων

Η παρούσα διπλωματική περιλαμβάνει 3 σειρές πειραμάτων. Η πρώτη σειρά αφορά στη μελέτη φρέσκου άρτου με μαγιά η οποία έχει υποστεί εγκλεισμό σε διάφορα εγκλειστικά μέσα. Η δεύτερη σειρά ασχολείται με τη μελέτη κατεψυγμένου άρτου με μαγιά εγκλεισμένη στα ίδια εγκλειστικά μέσα με αυτά του φρέσκου άρτου. Η τρίτη σειρά πειραμάτων αφορά στην ενσωμάτωση κρουπροστατευτικής ουσίας (τρεχαλόζη) στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς αρτοποιίας και στη συνέχεια στη μελέτη του κατεψυγμένου άρτου.

### Σχεδιασμός 1ης σειράς πειραμάτων

Η πρώτη σειρά πειραμάτων ξεκινά με τη διαδικασία του εγκλεισμού της νωπής μαγιάς αρτοποιίας. Αρχικά, σε 200mL απεσταγμένο νερό προστίθενται 20g εγκλειστικού μέσου και 10g νωπής μαγιάς αρτοποιίας. Τα εγκλειστικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και οι αναλογίες αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1. Αναλογίες εγκλειστικών μέσων

Υλικό/φορέας εγκλεισμού	Ποσότητα (g)/ 10g μαγιάς
<b>Μαλτοδεξτρίνη (MD)</b>	20
<b>Ορός γάλακτος (sweet whey)</b>	20
<b>Μαλτοδεξτρίνη+Κυκλοδεξτρίνη</b>	12,5+7,5
<b>Μαλτοδεξτρίνη + Ορός γάλακτος</b>	10+10
<b>Ορός γάλακτος + Κυκλοδεξτρίνη</b>	12,5+7,5

Το εναιώρημα που δημιουργείται αναδεύεται για 5min σε μαγνητικό αναδευτήρα επιτραπέζιας κορυφής και τοποθετείται σε τρυβλία που οδηγούνται στην κατάψυξη. Ύστερα από μία ημέρα παραμονής υπό κατάψυξη, το υλικό που βρίσκεται στα τρυβλία υποβάλλεται στη διαδικασία της λυοφιλίωσης. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής, το προϊόν του εγκλεισμού που βρίσκεται στα τρυβλία κονιοποιείται με χρήση γουδιού και χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων.

Στη συνέχεια, παρασκευάζονται παρτίδες, των έξι (6) δειγμάτων έκαστη, με μαγιά η οποία έχει εγκλειστεί σε διαφορετικό υλικό/φορέα κάθε φορά. Έτσι, παρασκευάζονται συνολικά 6 διαφορετικές παρτίδες, 1 για κάθε εγκλειστικό μέσο

και μία που χρησιμοποιείται ως τυφλό δείγμα και η μαγιά στην παρτίδα αυτή δεν έχει υποστεί τη διαδικασία του εγκλεισμού.

### *Σχεδιασμός 2ης σειράς πειραμάτων*

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων μελετήθηκε η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης υπό κατάψυξη στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων. Εξετάστηκε η σταθερότητα της συμπεριφοράς του ζυμαριού και του παραγόμενου από αυτό άρτου με αποθήκευσή του υπό κατάψυξη για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Για τη μελέτη των ζυμαριών υπό κατάψυξη παρασκευάζονται παρτίδες στις οποίες η μαγιά που έχει χρησιμοποιηθεί έχει υποστεί εγκλεισμό στα υλικά/φορείς που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 9.1. Για κάθε εγκλειστικό μέσο παρασκευάζονται 6 παρτίδες. Η δειγματοληψία, αρχικά, γίνεται ανά πυκνότερα χρονικά διαστήματα, επειδή ο ρυθμός της υποβάθμισης των δειγμάτων, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα, είναι υψηλότερος τις πρώτες ημέρες της αποθήκευσης υπό κατάψυξη.

#### *Χρόνος αποθήκευσης δειγμάτων υπό κατάψυξη*

Χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη (ημέρες)			
1	7	15	10

### *Σχεδιασμός 3ης σειράς πειραμάτων*

Στην τρίτη σειρά πειραμάτων μελετήθηκε και πάλι η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης υπό κατάψυξη στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων με τη διαφορά ότι προστέθηκε τρεχαλόζη στη διαδικασία του εγκλεισμού. Η ποσότητα τρεχαλόζης που προστίθεται είναι 100ppm επί του αλεύρου συνεπώς 0,03g. Για τη μελέτη των ζυμαριών υπό κατάψυξη παρασκευάζονται και πάλι παρτίδες στις οποίες η μαγιά που έχει χρησιμοποιηθεί έχει υποστεί εγκλεισμό στα υλικά/φορείς που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 9.1. Για κάθε εγκλειστικό μέσο παρασκευάζονται 6 παρτίδες. Η δειγματοληψία γίνεται στα ίδια χρονικά διαστήματα με τη 2<sup>η</sup> σειρά.

## 10. Στατιστική επεξεργασία

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Statistica (Version 10, Statsoft, Tulsa, OK, USA). Στα αποτελέσματα της πρώτης σειράς πειραμάτων, για κάθε μεταβλητή έγινε ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA). Στη σκληρότητα της κόρας και της ψίχας έγινε, επίσης, ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), ώστε εκτός από την αναλογία των εγκλειστικών μέσων της μαγιάς να μελετηθεί και η επίδραση του χρόνου μετά τη διόγκωση. Στα αποτελέσματα της δεύτερης και τρίτης σειράς πειραμάτων έγινε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), ώστε να μελετηθεί η επίδραση των εγκλειστικών μέσων, της τρεχαλόζης και του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης σε κατάψυξη σε κάθε μεταβλητή. Τέλος, στη 2<sup>η</sup> και στην 3<sup>η</sup> σειρά πειραμάτων έγινε πολυπαραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA - Principal Component Analysis).



## 11. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Για τα παρακάτω διαγράμματα χρησιμοποιείται η εξής κωδικοποίηση:

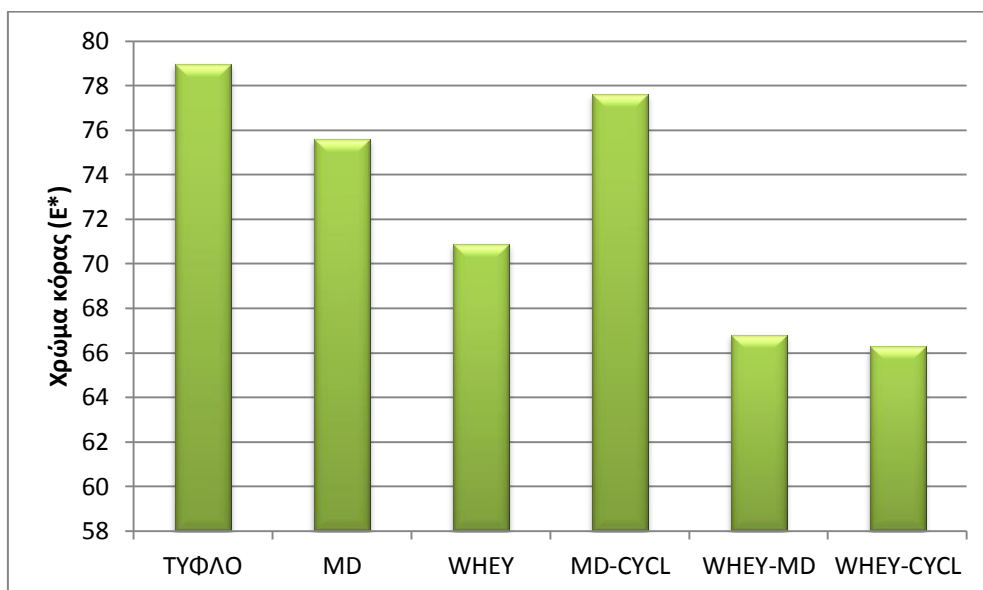
- Τυφλό: δείγμα στο οποίο η μαγιά προστίθεται χωρίς να έχει εγκλειστεί σε κάποιο εγκλειστικό μέσο
- MD: δείγμα στο οποίο η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη
- WHEY: δείγμα στο οποίο η μαγιά έχει εγκλειστεί σε σκόνη ορού γάλακτος
- MD-CYCL.: δείγμα στο οποίο η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μίγμα μαλτοδεξτρίνης-κυκλοδεξτρίνης (75%-25%)
- WHEY-MD: δείγμα στο οποίο η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μίγμα σκόνης ορού γάλακτος και μαλτοδεξτρίνης (50%-50%)
- WHEY-CYCL.: δείγμα στο οποίο η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μίγμα σκόνης ορού γάλακτος και κυκλοδεξτρίνης (75%-25%)

### 11.1. Σειρά 1<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης των διαφορετικών εγκλειστικών μέσων στα φρέσκα δείγματα άρτου

#### Σκοπός

Προκειμένου να βρεθεί το καλύτερο υλικό/φορέας για τον εγκλεισμό μαγιάς αρτοποιίας, παρασκευάστηκαν δείγματα άρτου στα οποία η μαγιά που χρησιμοποιήθηκε, είχε πρώτα εγκλειστεί σε 5 διαφορετικούς φορείς: μαλτοδεξτρίνη, σκόνη ορού γάλακτος (sweet whey), μαλτοδεξτρίνη-κυκλοδεξτρίνη (75%-25%), μαλτοδεξτρίνη-ορός γάλακτος (50%-50%) και ορός γάλακτος-κυκλοδεξτρίνη (75%-25%). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις που ελήφθησαν παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν.

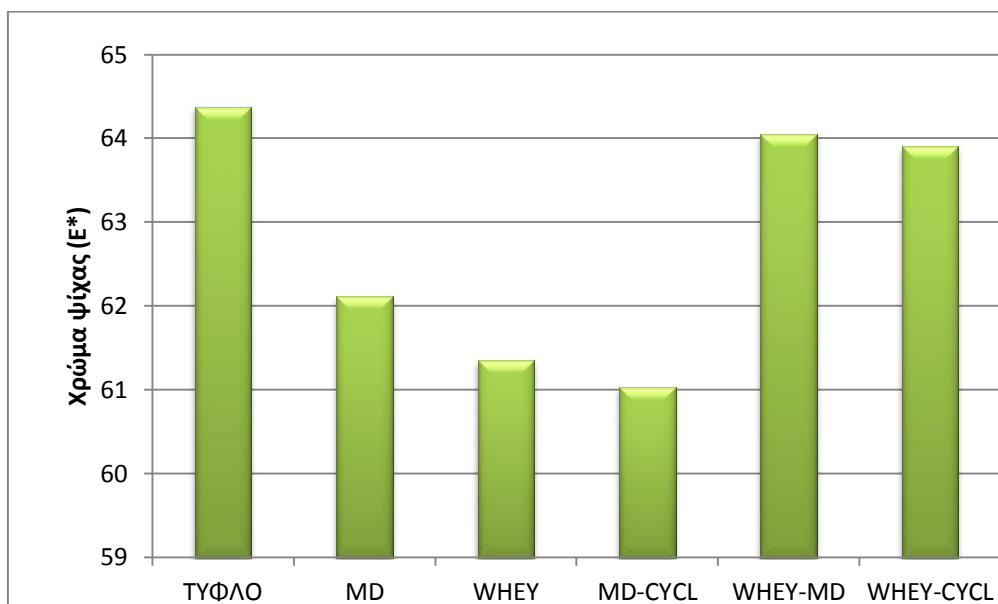
**Μεταβολή χρώματος κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.1. Μεταβολή χρώματος κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Παρατηρώντας το διάγραμμα 11.1. προκύπτει ότι το χρώμα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται από το είδος του εγκλειστικού μέσου που έχει χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία κατά την οποία προέκυψε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στο χρώμα της κόρας των δειγμάτων ( $p < 0,05$ ). Πιο συγκεκριμένα, στο τυφλό δείγμα, στο οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί κάποιο εγκλειστικό μέσο για τη μαγιά, το χρώμα της κόρας είναι πολύ πιο έντονο σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

**Μεταβολή χρώματος ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**

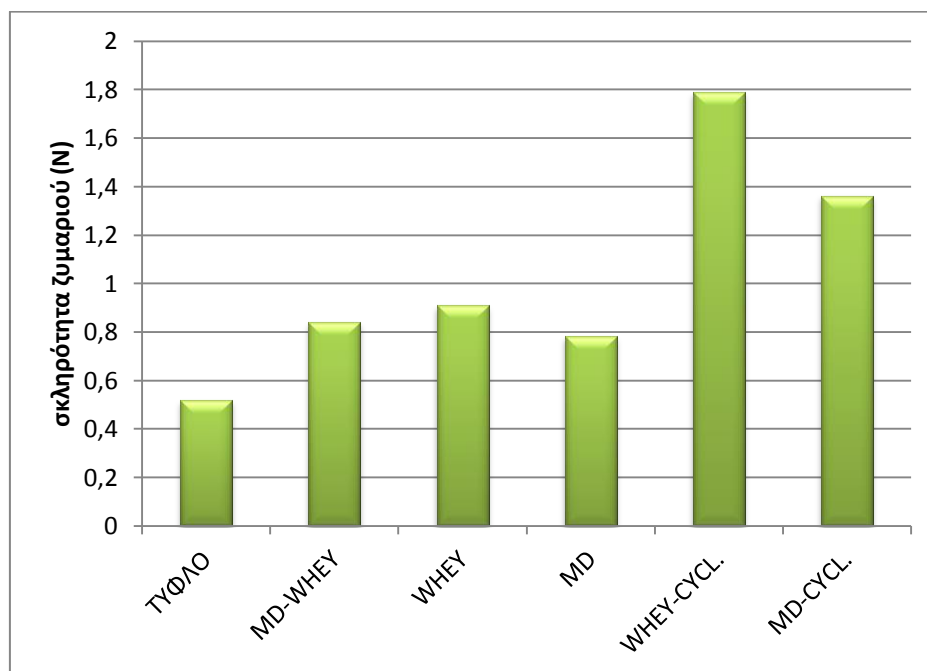


Διάγραμμα 11.2. Μεταβολή χρώματος ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Από τις μετρήσεις του χρώματος της ψίχας των δειγμάτων άρτου προκύπτει ότι το χρώμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από το υλικό στο οποίο έχει γίνει ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι το τυφλό δείγμα έχει το εντονότερο χρώμα ψίχας. Παρόμοιο χρώμα ωστόσο φαίνεται να έχουν και τα δείγματα μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος και κυκλοδεξτρίνη- σκόνη ορού γάλακτος. Το δείγμα που εμφανίζει το λιγότερο έντονο χρώμα είναι αυτό στο οποίο ο εγκλεισμός της μαγιάς έχει γίνει με φορέα μαλτοδεξτρίνη-κυκλοδεξτρίνη.



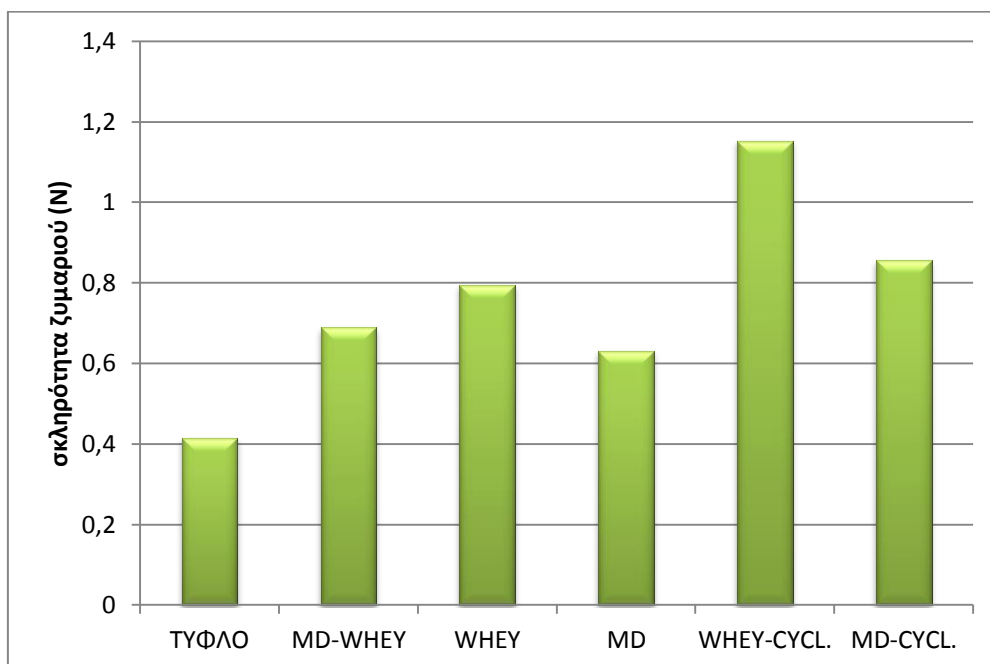
**Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού ως προς το εγκλειστικό πριν τη διόγκωση φρέσκων αρτοσκευασμάτων**



Διάγραμμα 11.3. Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς πριν τη διόγκωση φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται η σκληρότητα του ζυμαριού πριν τη διόγκωση να μεταβάλλεται από τα διάφορα εγκλειστικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται σημαντικά ( $p < 0,05$ ) από τα χρησιμοποιούμενα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς. Συγκεκριμένα, η διαφορά παρατηρείται μεταξύ του «τυφλού» δείγματος που δεν περιέχει καθόλου εγκλειστικά μέσα και όλων των άλλων δειγμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι έστω και μικρή προσθήκη εγκλειστικού μέσου αυξάνει σημαντικά τη σκληρότητα του ζυμαριού πριν τη διόγκωση. Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη αύξηση της σκληρότητας συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται η κυκλοδεξτρίνη ως εγκλειστικό μέσο, ενώ είναι ελάχιστη διαφορά με το τυφλό δείγμα όταν ως εγκλειστικό μέσο χρησιμοποιείται μαλτοδεξτρίνη.

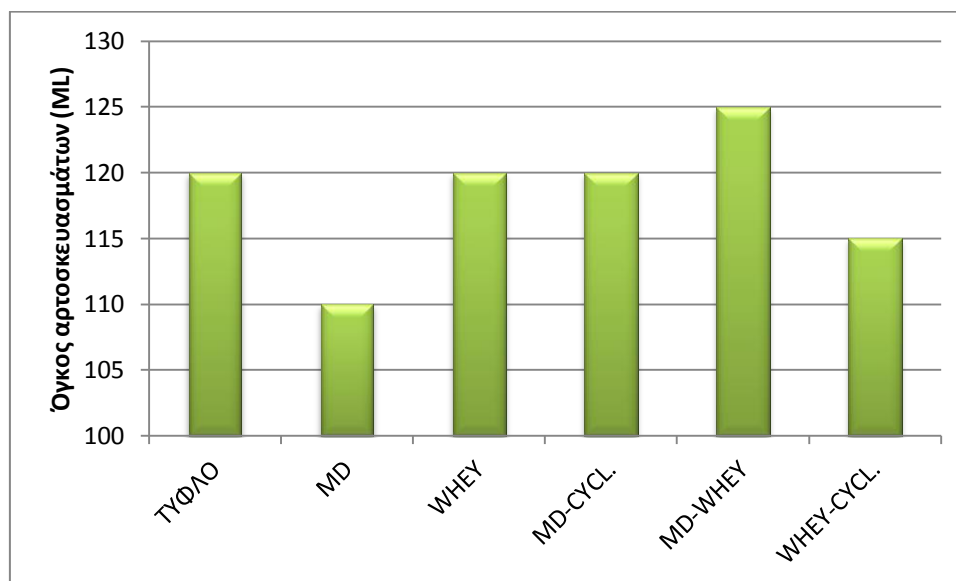
**Μεταβολή της σκληρότητας του ζυμαριού ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς μετά τη διόγκωση**



Διάγραμμα 11.4. Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς μετά τη διόγκωση φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται η σκληρότητα του ζυμαριού μετά τη διόγκωση να μεταβάλλεται από τα διάφορα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται σημαντικά ( $p < 0,05$ ) από τα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς. Συγκεκριμένα, η διαφορά παρατηρείται μεταξύ του «τυφλού» δείγματος που δεν περιέχει καθόλου εγκλειστικά μέσα και όλων των άλλων δειγμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι έστω και μικρή προσθήκη εγκλειστικού μέσου αυξάνει σημαντικά τη σκληρότητα του ζυμαριού μετά τη διόγκωση. Ωστόσο, αν συγκριθούν οι τιμές της σκληρότητας με το παραπάνω διάγραμμα που δείχνει τη σκληρότητα πριν τη διόγκωση, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική μείωση της σκληρότητας μετά τη διόγκωση.

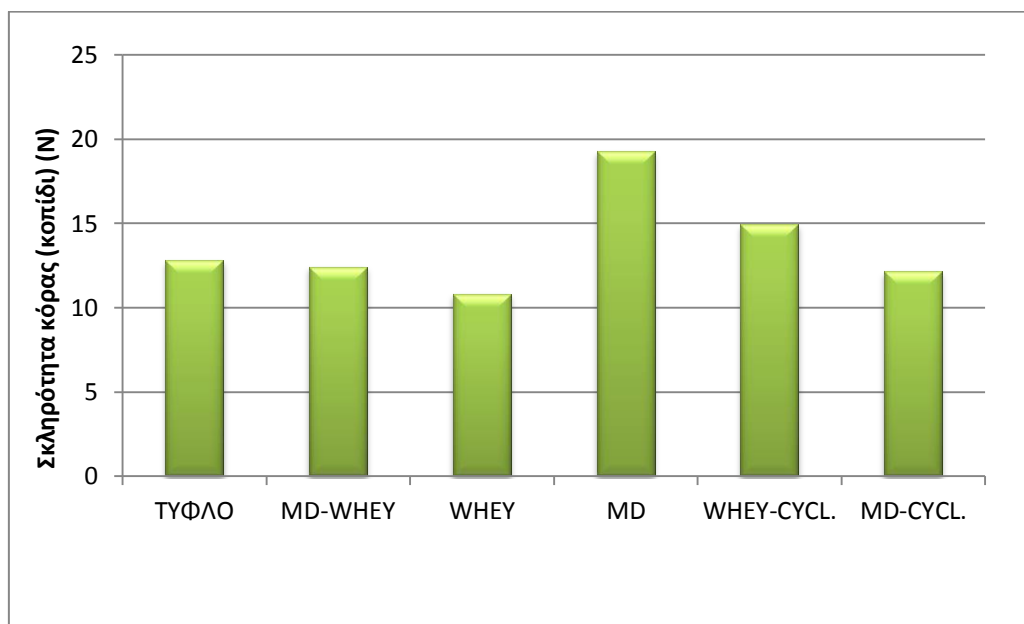
**Μεταβολή του όγκου των φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.5. Μεταβολή όγκου φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Από το διάγραμμα 11.5 προκύπτει ότι ο όγκος των ψημένων αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται από το υλικό-φορέα το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ), η οποία έδειξε ότι ο όγκος των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται σημαντικά από το εγκλειστικό μέσο που έχει χρησιμοποιηθεί. Συγκεκριμένα, το δείγμα με τη μαλτοδεξτρίνη είναι αυτό στο οποίο ο όγκος παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή.

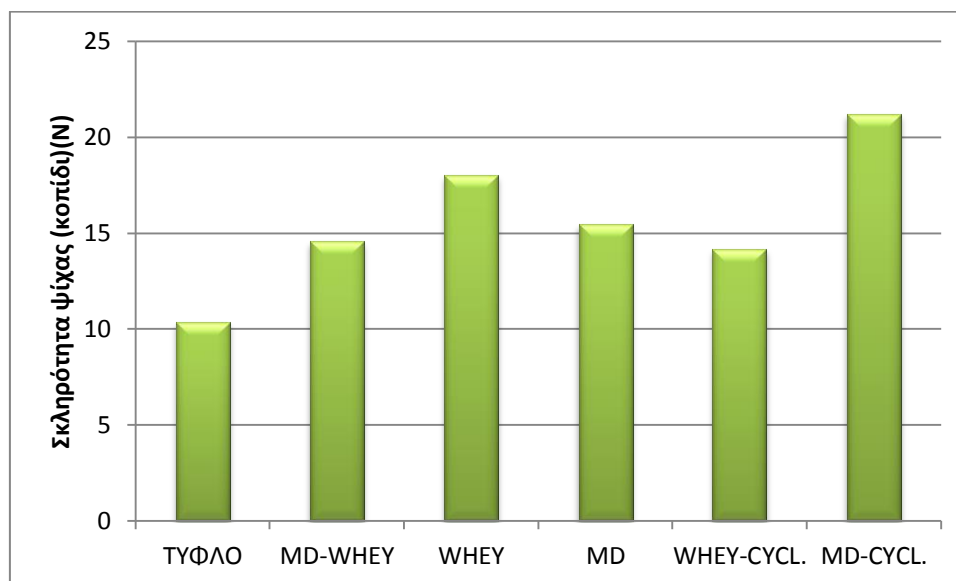
**Μεταβολή σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.6. Μεταβολή σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.6 αποτυπώνεται η μεταβολή της σκληρότητας κατά την κοπή της κόρας των φρέσκων ψημένων αρτοσκευασμάτων, ανάλογα με το υλικό-φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά. Όπως φαίνεται, η σκληρότητα των δειγμάτων που περιέχουν εγκλειστικά μέσα, έχει αυξηθεί σε σχέση με το τυφλό δείγμα, στο οποίο η μαγιά δεν έχει υποστεί τη διαδικασία του εγκλεισμού. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση που έδειξε ότι η προσθήκη εγκλειστικού μέσου επηρεάζει σημαντικά τη σκληρότητα της κόρας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Παρατηρώντας το διάγραμμα, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη σκληρότητα εμφανίζεται, όταν για τον εγκλεισμό έχει χρησιμοποιηθεί μαλτοδεξτρίνη σε συνδυασμό με ορό γάλακτος. Αντίθετα, το δείγμα με μαλτοδεξτρίνη-κυκλοδεξτρίνη παρουσιάζει σκληρότητα ψίχας παρόμοια με αυτή του τυφλού δείγματος.

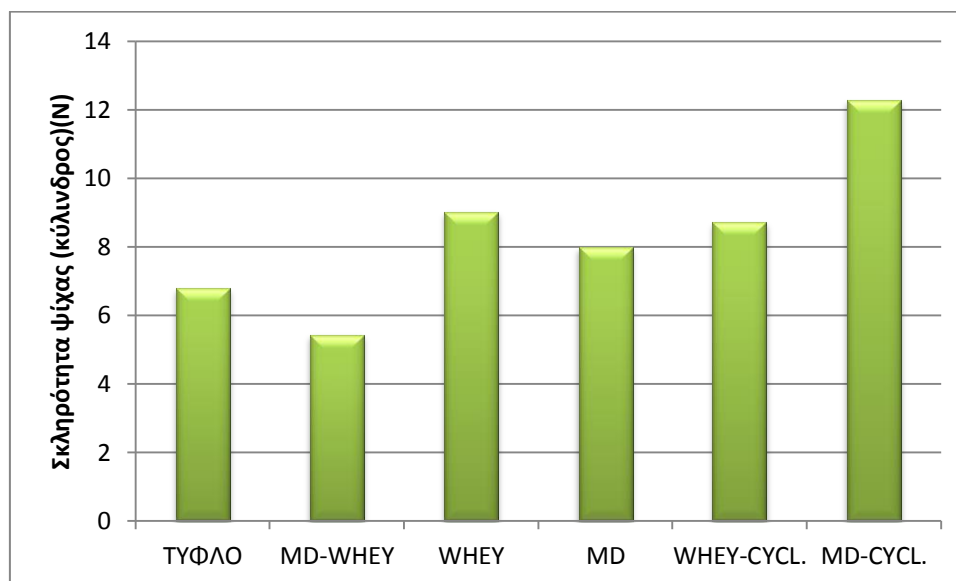
**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.7. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Η σκληρότητα ψίχας κατά την κοπή των αρτοσκευασμάτων δείχνει να επηρεάζεται από τα διάφορα εγκλειστικά μέσα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 11.7. αλλά και όπως επιβεβαιώνεται από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Πιο συγκεκριμένα, η σκληρότητα της ψίχας των δειγμάτων στα οποία η μαγιά έχει υποστεί εγκλεισμό, παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Τα δείγματα στα οποία για τον εγκλεισμό της μαγιάς έχει χρησιμοποιηθεί κυκλοδεξτρίνη-μαλτοδεξτρίνη είναι αυτά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη σκληρότητα ψίχας.

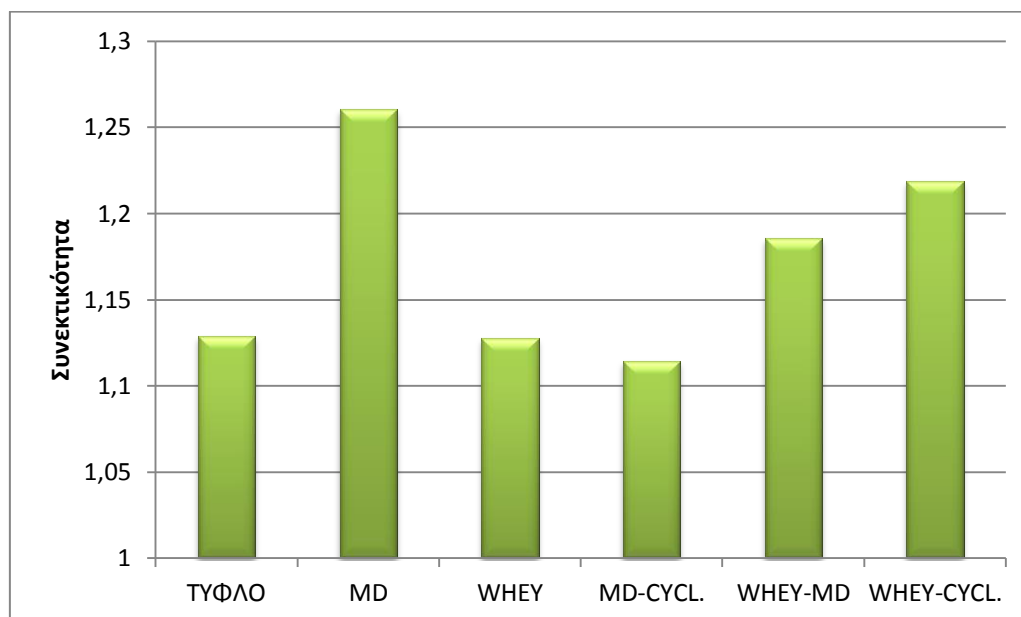
**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπύεση) φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.8. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπύεση) φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Η σκληρότητα της ψίχας κατά τη συμπύεση επηρεάζεται και αυτή σημαντικά από το εγκλειστικό μέσο που περιέχει. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται άλλωστε και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, τα δείγματα με κυκλοδεξτρίνη-μαλτοδεξτρίνη έχουν πολύ υψηλή σκληρότητα και με μεγάλη απόκλιση από τα άλλα δείγματα. Ωστόσο, στα υπόλοιπα δείγματα η σκληρότητα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

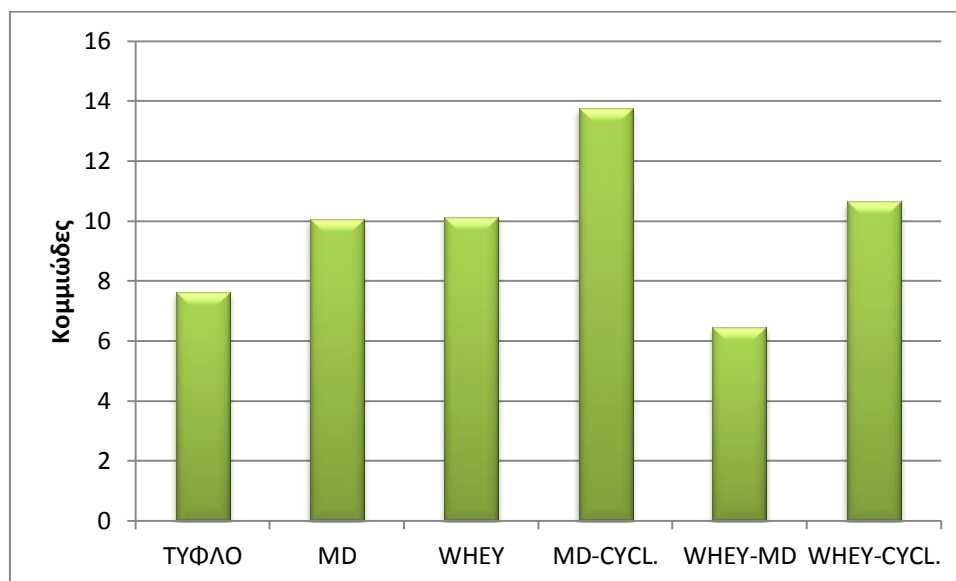
### Μεταβολή συνεκτικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς



Διάγραμμα 11.9. Μεταβολή συνεκτικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.9. αποτυπώνεται η μεταβολή της συνεκτικότητας κατά τη συμπίεση των φρέσκων ψημένων αρτοσκευασμάτων, ανάλογα με το υλικό-φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά. Όπως φαίνεται, η συνεκτικότητα των δειγμάτων που περιέχουν εγκλειστικά μέσα, παρουσιάζει διακυμάνσεις σε σχέση με το τυφλό δείγμα, στο οποίο η μαγιά δεν έχει υποστεί τη διαδικασία του εγκλεισμού. Ωστόσο, η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι τα διαφορετικά εγκλειστικά μέσα της μαγιάς δεν επηρεάζουν σημαντικά τη συνεκτικότητα του φρέσκου αρτοσκευάσματος. Το δείγμα με μαγιά εγκλεισμένη σε ορό γάλακτος παρουσιάζει συνεκτικότητα παρόμοια με αυτή του τυφλού δείγματος.

**Μεταβολή κομμώδους φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**

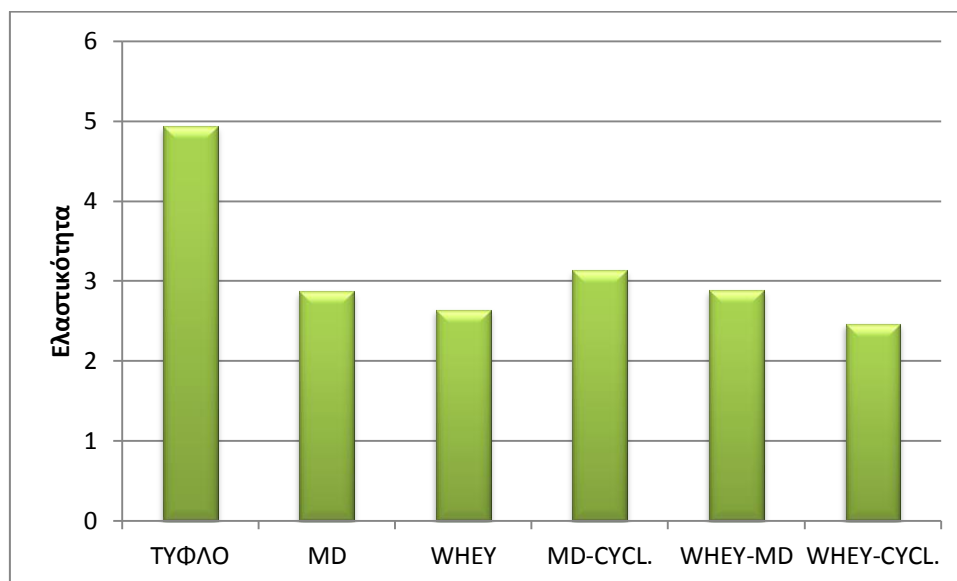


Διάγραμμα 11.10. Μεταβολή κομμώδους φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.10. αποτυπώνεται η μεταβολή του κομμώδους κατά τη συμπίεση των φρέσκων ψημένων αρτοσκευασμάτων, ανάλογα με το υλικό-φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά. Όπως φαίνεται, το κομμώδους των δειγμάτων που περιέχουν εγκλειστικά μέσα, παρουσιάζει διακυμάνσεις σε σχέση με το τυφλό δείγμα, στο οποίο η μαγιά δεν έχει υποστεί τη διαδικασία του εγκλεισμού. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε ότι τα διαφορετικά εγκλειστικά μέσα της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά το κομμώδους του φρέσκου αρτοσκευάσματος ( $p < 0,05$ ).



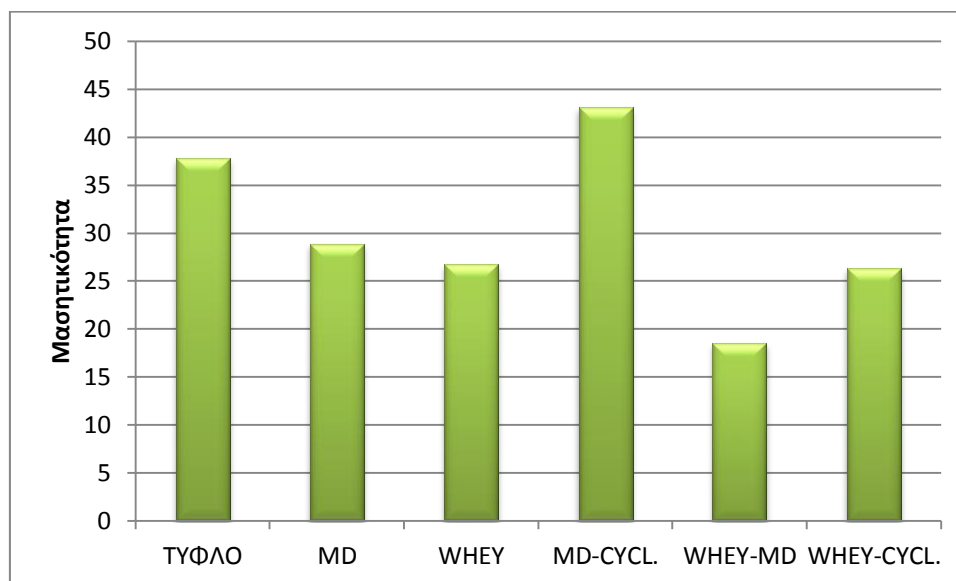
**Μεταβολή ελαστικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.11. Μεταβολή ελαστικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.11. παρουσιάζεται η μεταβολή της ελαστικότητας κατά τη συμπίεση των φρέσκων ψημένων αρτοσκευασμάτων, ανάλογα με το υλικό-φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά. Η ελαστικότητα των δειγμάτων που περιέχουν εγκλειστικά μέσα, επηρεάζεται από τα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς και αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ).

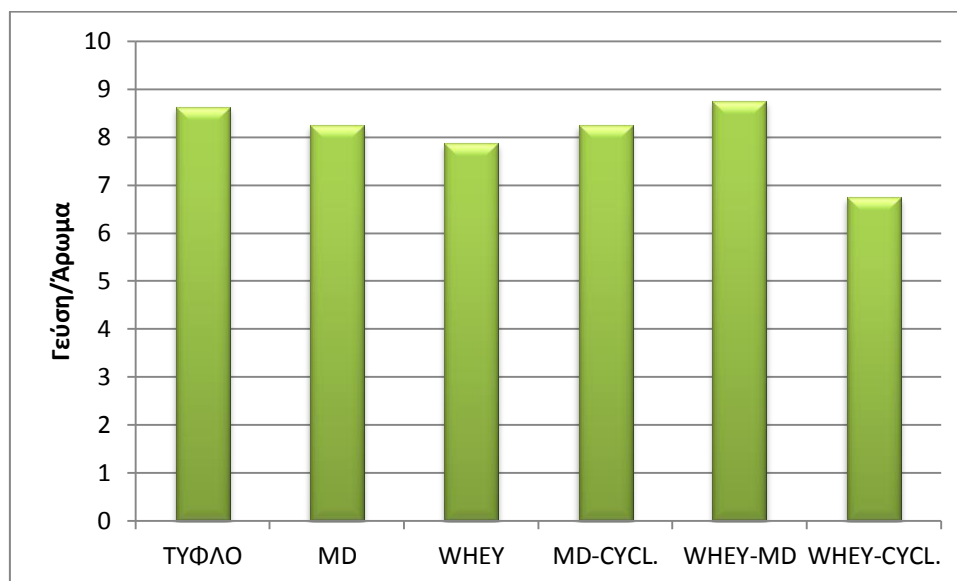
**Μεταβολή μασητικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.12. Μεταβολή μασητικότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.12. παρουσιάζεται η μεταβολή της μασητικότητας κατά τη συμπίεση των φρέσκων ψημένων αρτοσκευασμάτων, ανάλογα με το υλικό-φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά. Η μασητικότητα των δειγμάτων που περιέχουν εγκλειστικά μέσα, επηρεάζεται από τα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς και αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ).

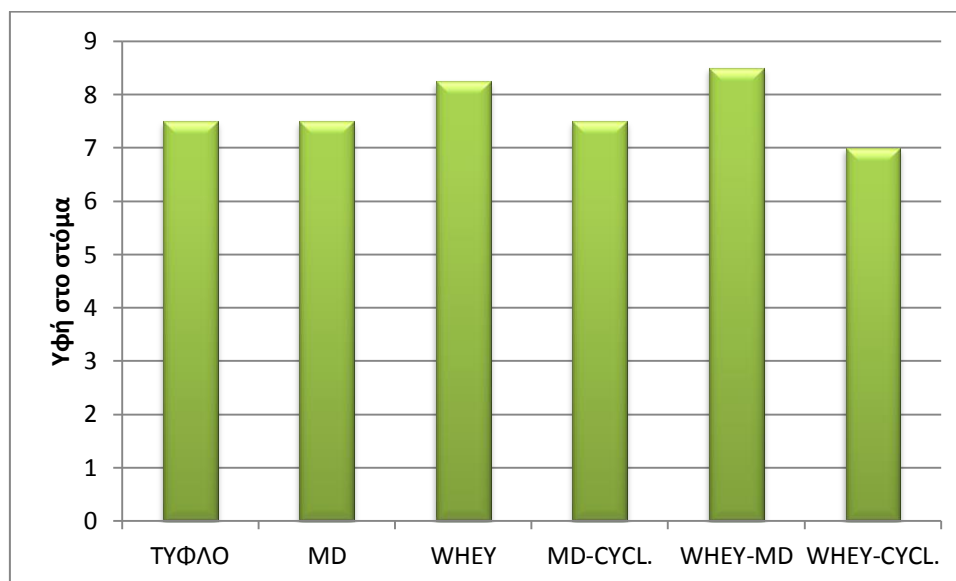
**Μεταβολή γεύσης/αρώματος φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.13. Μεταβολή γεύσης/αρώματος φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.13. παρουσιάζεται η μεταβολή της γεύσης των αρτοσκευασμάτων όπως αυτή αξιολογήθηκε από τους δοκιμαστές. Η μεταβολή της γεύσης επηρεάζεται σημαντικά από το εγκλειστικό μέσο στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά αρτοποιίας. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Οι δοκιμαστές φαίνεται ότι έδειξαν προτίμηση στα αρτοσκευάσματα στα οποία η μαγιά είχε εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

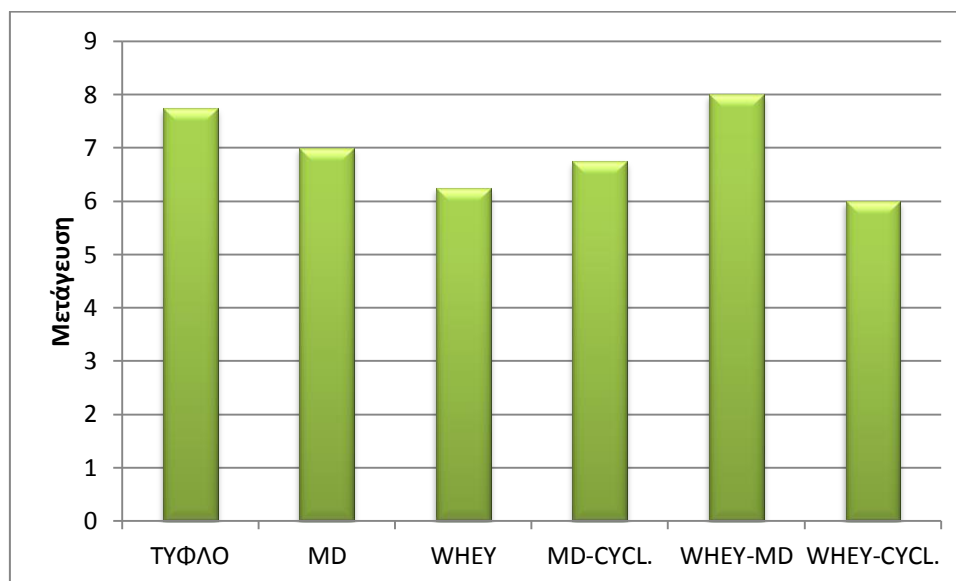
**Μεταβολή υφής στο στόμα φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.14. Μεταβολή υφής στο στόμα φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.14. παρουσιάζεται η μεταβολή της υφής στο στόμα των φρέσκων αρτοσκευασμάτων όπως αυτή αξιολογήθηκε από τους δοκιμαστές. Όπως υποδεικνύει η στατιστική επεξεργασία, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβολή της υφής στο στόμα των αρτοσκευασμάτων δεν επηρεάζεται σημαντικά από τα εγκλειστικά μέσα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας.

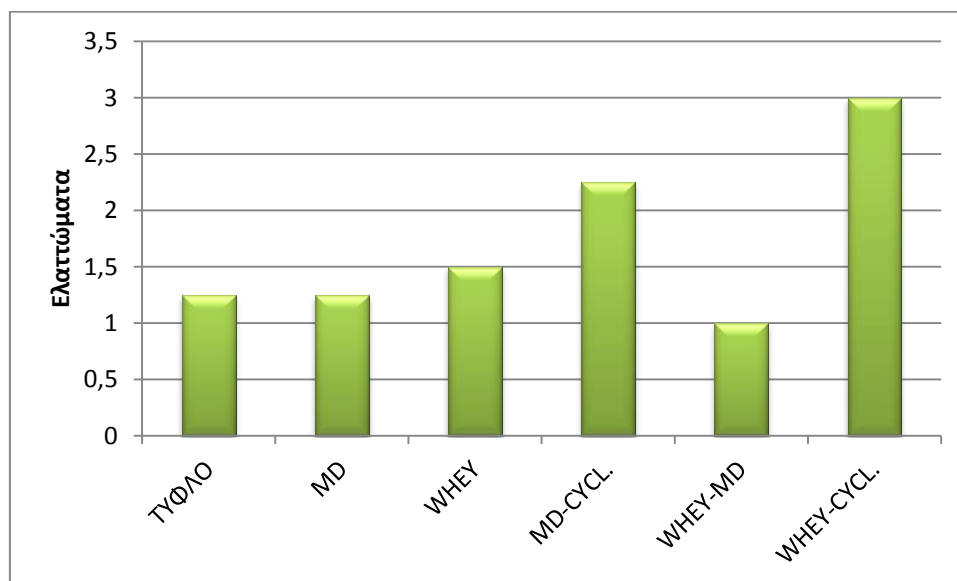
**Μεταβολή μετάγευση φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.15. Μεταβολή μετάγευσης φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.15. παρουσιάζεται η μεταβολή της μετάγευσης των φρέσκων αρτοσκευασμάτων όπως αυτή αξιολογήθηκε από τους δοκιμαστές. Μέσω της στατιστικής επεξεργασίας, φάνηκε ότι η μετάγευση των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται σημαντικά από το υλικό/φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά που έχει χρησιμοποιηθεί στα ζυμάρια ( $p < 0,05$ ). Οι δοκιμαστές έκριναν ότι καλύτερη μετάγευση δίνουν τα αρτοσκευάσματα που για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας χρησιμοποιήθηκε μαλτοδεξτρίνη - σκόνη ορού γάλακτος.

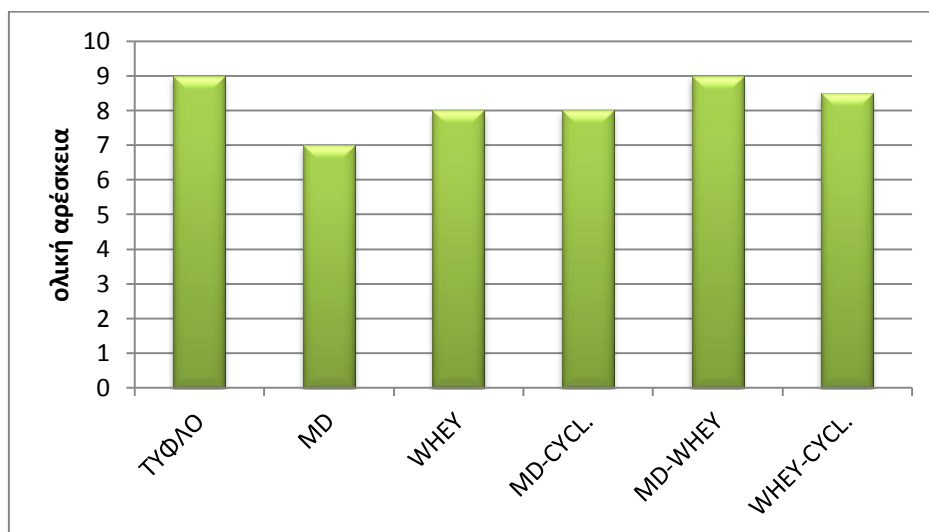
**Μεταβολή ελαττωμάτων φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.16. Μεταβολή ελαττωμάτων φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Στο διάγραμμα 11.16. παρουσιάζεται η μεταβολή των ελαττωμάτων των φρέσκων αρτοσκευασμάτων μετά από δοκιμή και βαθμολόγηση από τους δοκιμαστές. Τα ελαττώματα που εντοπίστηκαν, φαίνεται να επηρεάζονται από το υλικό/φορέα στο οποίο έχει εγκλειστεί η μαγιά αρτοποιίας, πράγμα που επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ).

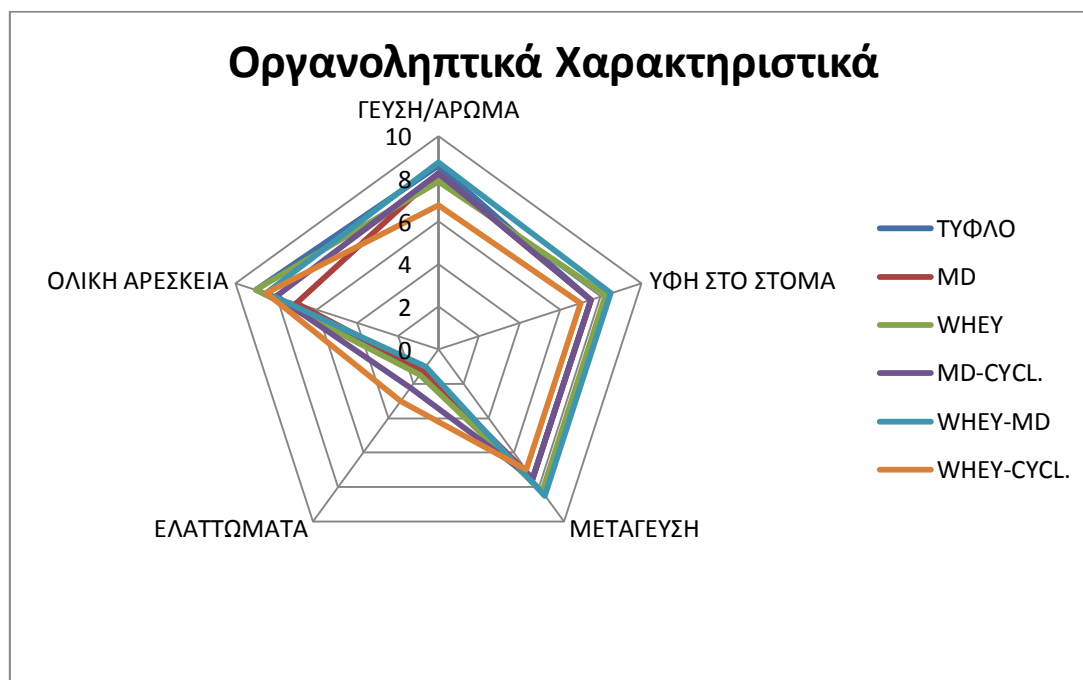
**Μεταβολή ολικής αρέσκειας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς**



Διάγραμμα 11.17. Μεταβολή ολικής αρέσκειας φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς

Η ολική αρέσκεια των δοκιμαστών φαίνεται να επηρεάζεται από το υλικό-φορέα που περιέχεται κάθε φορά στο δείγμα πράγμα που επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Ιδιαίτερη προτίμηση φαίνεται να δίνεται στο δείγμα με μαλτοδεξτρίνη - ορό γάλακτος ενώ μέτριας αρέσκειας χαρακτηρίζονται τα αρτοσκευάσματα με μαλτοδεξτρίνη.

*Συνολική απεικόνιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό*



Διάγραμμα 11.18. Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Στο διάγραμμα 11.18. απεικονίζεται η μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φρέσκων αρτοσκευασμάτων ως προς το εγκλειστικό μέσο της μαγιάς.

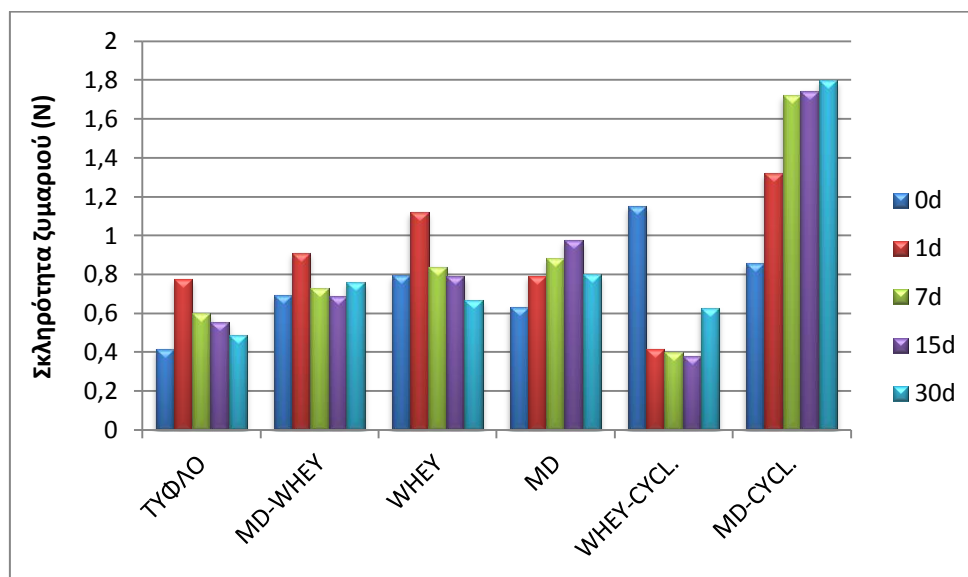
**11.2. Σειρά 2<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου κατάψυξης**

**Σκοπός**

Σκοπός της συγκεκριμένης σειράς πειραμάτων είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά των αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά σε συνθήκες κατάψυξης. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα έως και ενός μήνα. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν δειγματοληψία για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



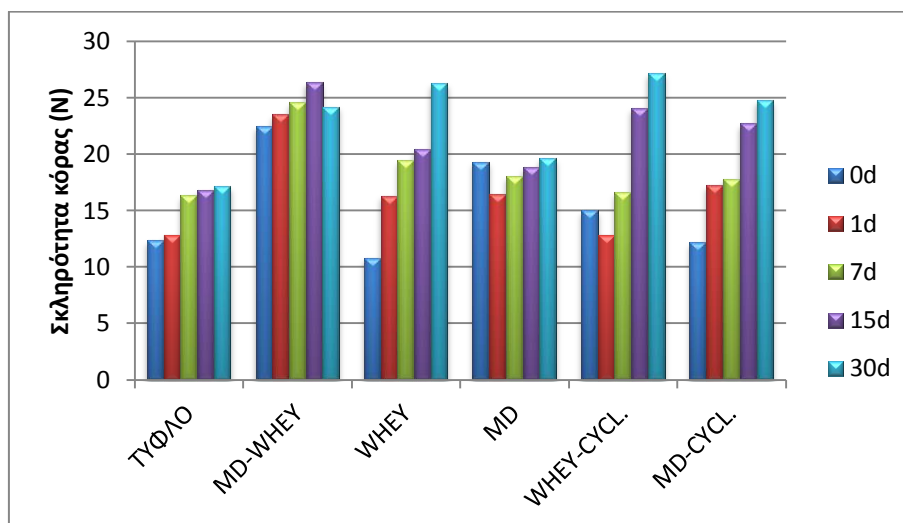
**Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη**



Διάγραμμα 11.19. Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη

Στο διάγραμμα 11.19. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας του ζυμαριού με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Στην πλειονότητα των δειγμάτων παρατηρούνται διακυμάνσεις της σκληρότητας καθώς αυξάνεται η παραμονή των δειγμάτων υπό κατάψυξη. Ωστόσο, όπως υποδεικνύει η στατιστική επεξεργασία, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται μόνο από τα εγκλειστικά μέσα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας και όχι από το χρόνο παραμονής του ζυμαριού στην κατάψυξη. Τα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε σκόνη ορού γάλακτος και σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος εμφανίζουν σκληρότητα παρόμοια με αυτή του τυφλού δείγματος.

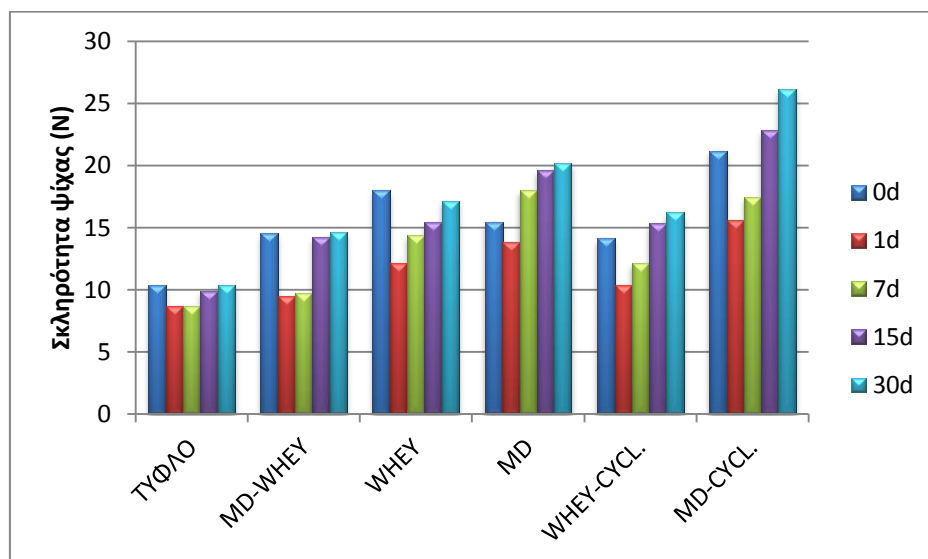
**Μεταβολή σκληρότητας κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.20. Μεταβολή σκληρότητας κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.20. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της κόρας κατά την κοπή των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη αυτών. Η πλειονότητα των περιπτώσεων παρουσιάζει τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, τόσο ο χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της κόρας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Παρατηρείται επίσης, ότι τα «τυφλά» δείγματα είναι αυτά που παρουσιάζουν τη μικρότερη μεταβολή στη σκληρότητα της κόρας στον ένα μήνα αποθήκευσης σε κατάψυξη ενώ τη μεγαλύτερη σκληρότητα μετά το πέρας των 30 ημερών την παρουσιάζει το δείγμα στο οποίο έχει χρησιμοποιηθεί ως εγκλειστικό μέσο της μαγιάς ο συνδυασμός κυκλοδεξτρίνη-ορός γάλακτος.

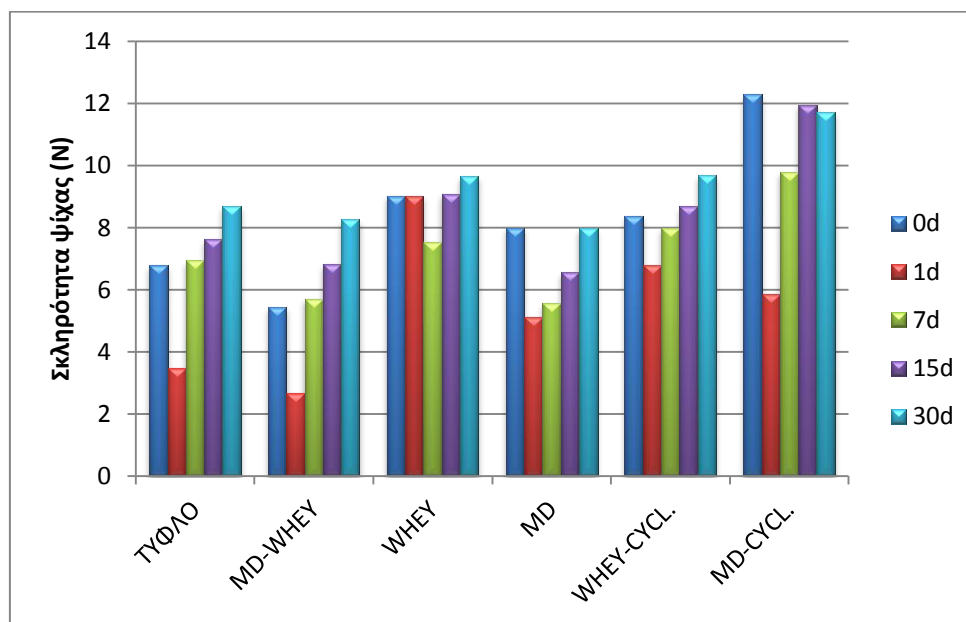
**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.21. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.21. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των αρτοσκευασμάτων συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όπως αυτή εκτιμήθηκε κατά την κοπή του δείγματος. Παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση της σκληρότητας μετά από μία ημέρα κατάψυξης του ζυμαριού, ενώ υπάρχει τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής υπό κατάψυξη μετά την 1<sup>η</sup> ημέρα. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, τόσο ο χρόνος αποθήκευσης του ζυμαριού σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αρτοποιίας επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της ψίχας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Πιο συγκεκριμένα, το τυφλό δείγμα είναι αυτό που παρουσιάζει τι πιο μικρές διακυμάνσεις σκληρότητας ψίχας σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και πιο κοντά σε αυτή τη συμπεριφορά είναι τα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

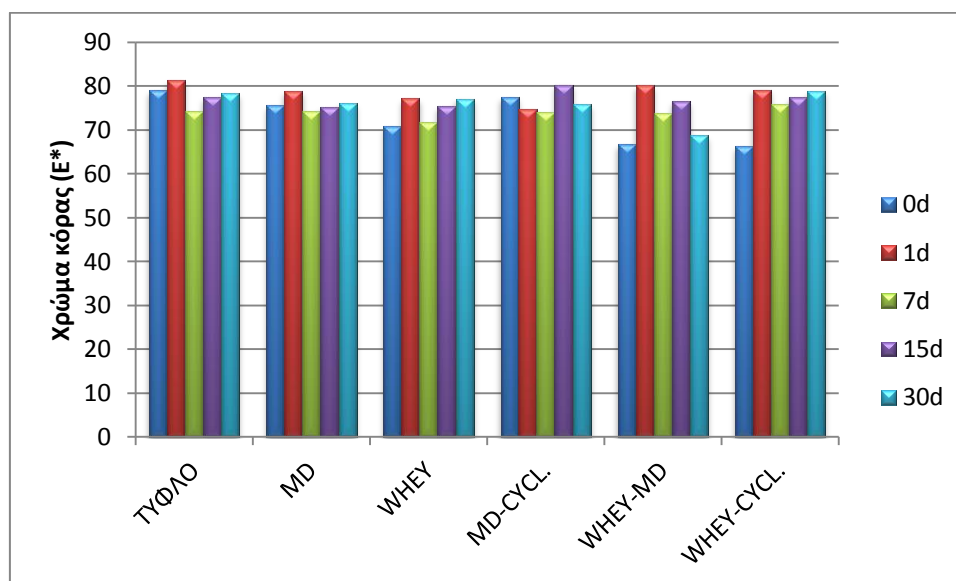
**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπίεση) αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.22. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπίεση) αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.22. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων σε σχέση με το χρόνο παραμονής τους υπό κατάψυξη, όπως αυτή εκτιμήθηκε κατά τη συμπίεση του δείγματος με κύλινδρο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι, όπως αναμενόταν, αντίστοιχα, αν όχι όμοια, με τα αποτελέσματα της μέτρησης της σκληρότητας μέσω κοπής των δειγμάτων και επιβεβαιώνονται επίσης και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Παρατηρείται, λοιπόν, ότι ενώ μετά την πρώτη ημέρα κατάψυξης του ζυμαριού η σκληρότητα του αρτοσκευάσματος μειώνεται, μετά παρουσιάζει αύξηση. Πάντως, τόσο ο χρόνος αποθήκευσης σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της ψίχας του αρτοσκευάσματος κατά τη συμπίεση.

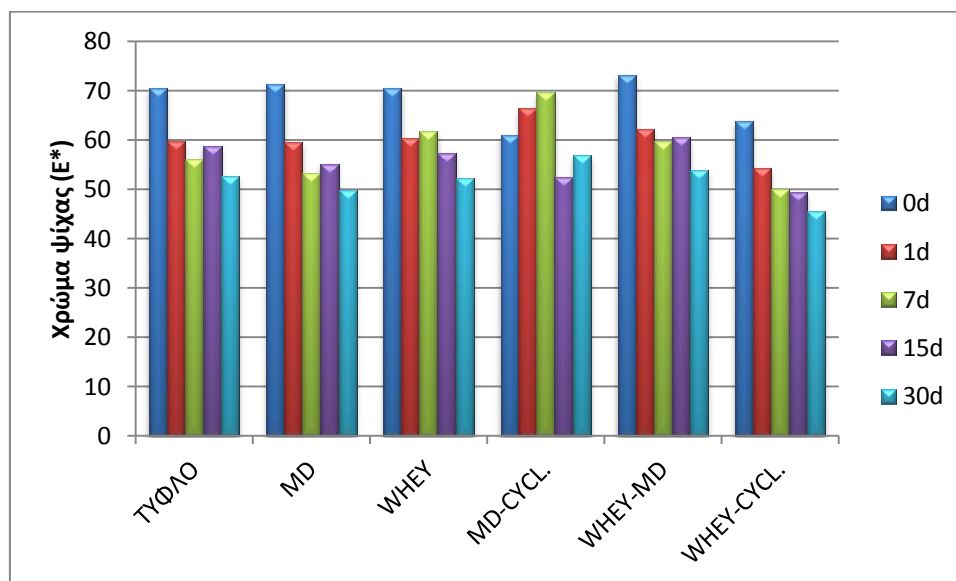
**Μεταβολή χρώματος κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.23. Μεταβολή χρώματος κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.23. παρουσιάζεται η μεταβολή του χρώματος της κόρας των δειγμάτων μετά από ένα μήνα παραμονής των δειγμάτων υπό κατάψυξη. Σε όλα τα δείγματα, το χρώμα της κόρας των αρτοσκευασμάτων γίνεται πιο έντονο όσο παραμένουν τα ζυμάρια στην κατάψυξη, χωρίς όμως να παρουσιάζονται ραγδαίες μεταβολές. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, το χρώμα της κόρας των αρτοσκευασμάτων δεν επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αλλά επηρεάζεται σημαντικά από το χρόνο αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη.

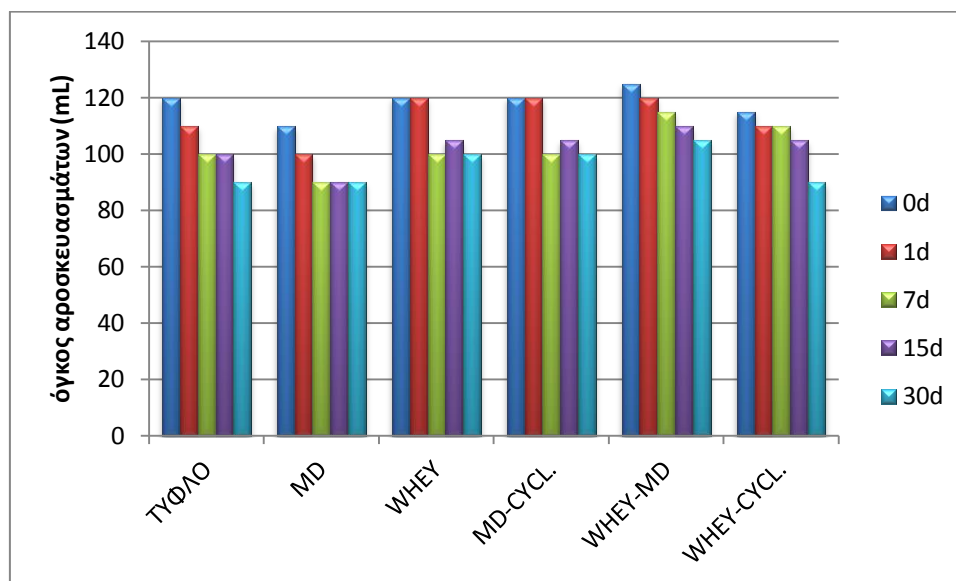
**Μεταβολή χρώματος ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.24. Μεταβολή χρώματος ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.24. παρουσιάζεται η μεταβολή του χρώματος της ψίχας των δειγμάτων μετά από ένα μήνα παραμονής υπό κατάψυξη. Η πλειονότητα των περιπτώσεων των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει τάση μείωσης του χρώματος της ψίχας καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, το χρώμα της κόρας επηρεάζεται σημαντικά τόσο από το χρόνο παραμονής των δειγμάτων υπό κατάψυξη όσο και από το είδος του εγκλειστικού μέσου που έχει χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας ( $p < 0,05$ ).

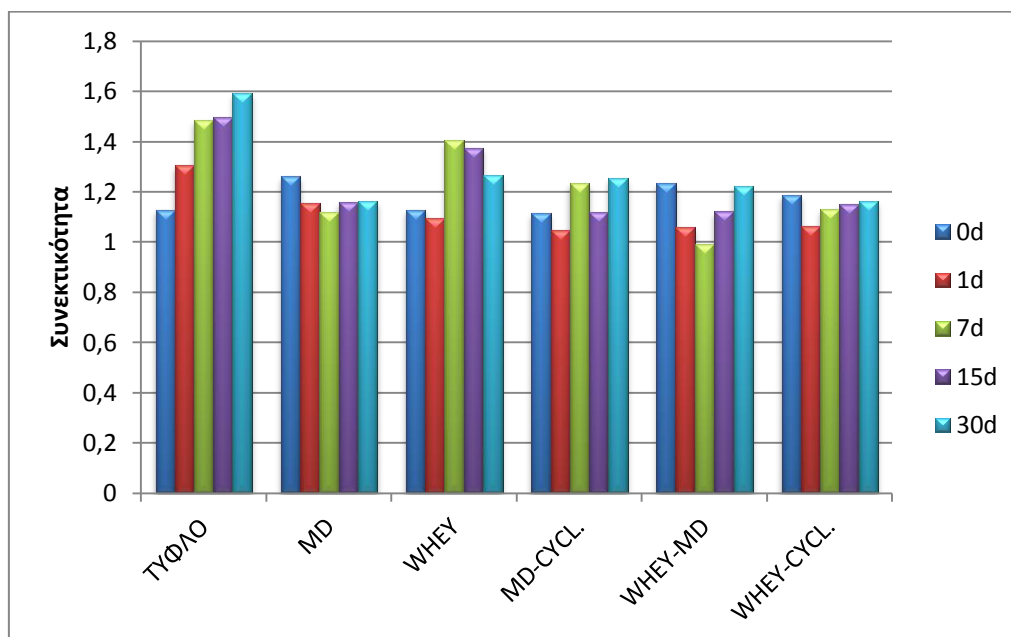
### Μεταβολή όγκου αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά



Διάγραμμα 11.25. Μεταβολή όγκου αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι ο όγκος των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η μείωση αυτή παρατηρείται κυρίως την πρώτη και την έβδομη ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη ενώ τις επόμενες ημέρες τείνει να παραμένει σταθερός. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε ότι στον όγκο του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επιρροή τόσο του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς ( $p < 0,05$ ). Η μείωση του όγκου του αρτοσκευάσματος οφείλεται κυρίως στο θερμικό σοκ που υφίστανται τα κύτταρα της μαγιάς και η γλουτένη καθώς η θερμοκρασία μειώνεται. Η περαιτέρω και πιο ήπια μείωση του όγκου οφείλεται στη σταδιακή μετουσίωση των μορίων της γλουτενίνης και στις αναγωγικές ουσίες που απελευθερώνονται από τα νεκρά κύτταρα της μαγιάς. Μετά το χρονικό διάστημα των 30 ημερών αποθήκευσης υπό κατάψυξη, τα δείγματα που εμφάνισαν το μεγαλύτερο όγκο ήταν αυτά στα οποία η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη – ορό γάλακτος.

**Μεταβολή συνεκτικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**

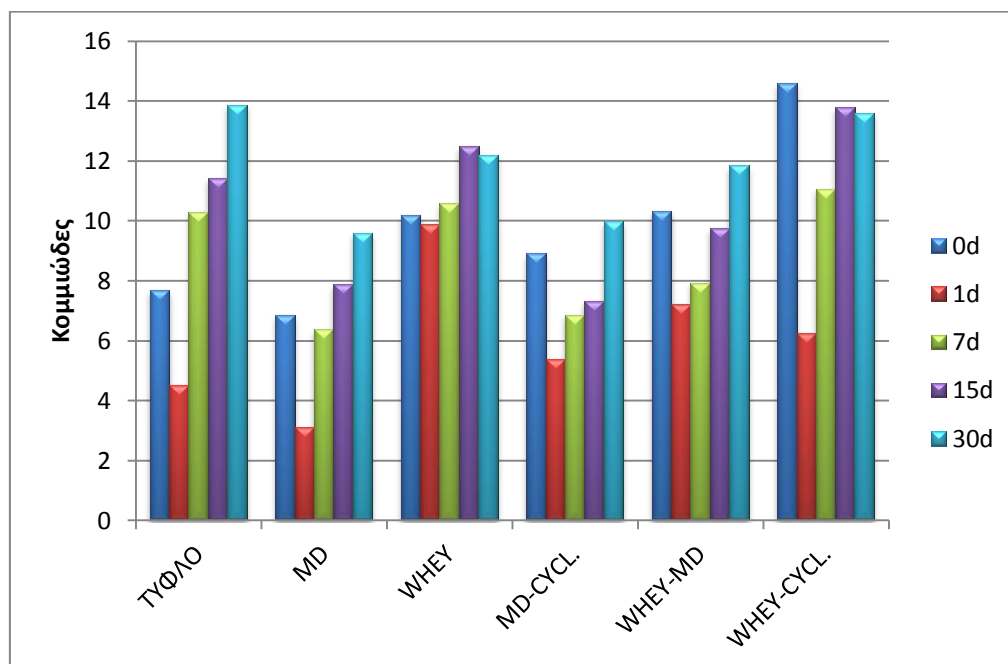


Διάγραμμα 11.26. Μεταβολή συνεκτικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι η συνεκτικότητα των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει διακυμάνσεις καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Μέσω της στατιστικής επεξεργασίας, βρέθηκε ότι η συνεκτικότητα των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται σημαντικά μόνο από το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αρτοποιίας, ενώ δεν επηρεάζεται σημαντικά από το χρονικό διάστημα αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη.



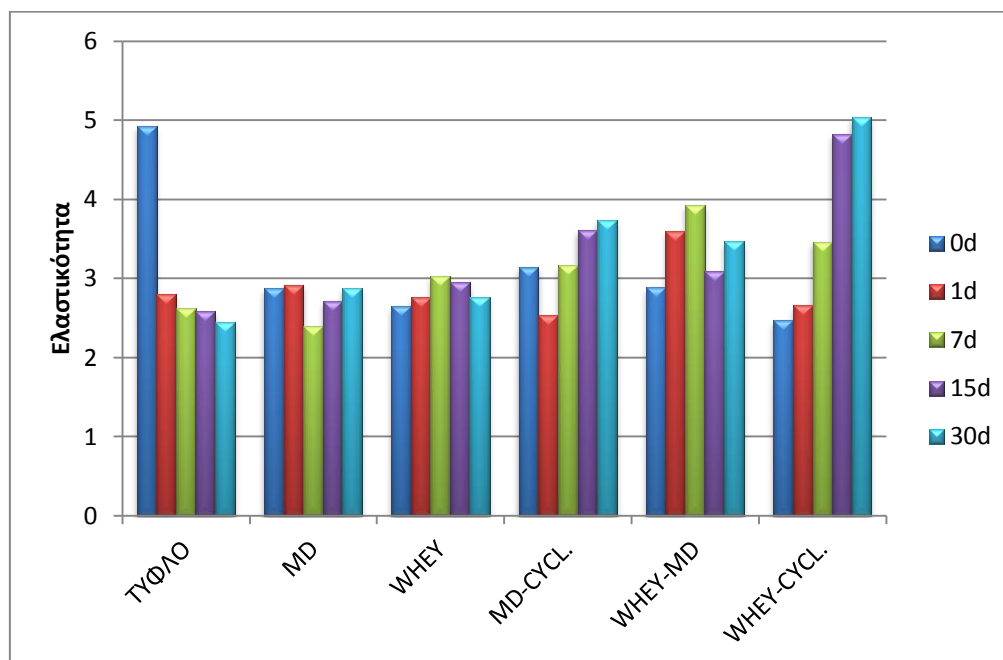
**Μεταβολή κομμώδους αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.30. Μεταβολή κομμώδους αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.30. παρουσιάζεται η μεταβολή του κομμώδους των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων σε σχέση με το χρόνο παραμονής τους υπό κατάψυξη, όπως αυτό εκτιμήθηκε κατά τη συμπίεση του δείγματος με κύλινδρο. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας έδειξαν ότι τόσο ο χρόνος αποθήκευσης σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά το κομμώδες του αρτοσκευάσματος ( $p < 0,05$ ). Καλύτερες τιμές κομμώδους έδωσαν τα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη – κυκλοδεξτρίνη.

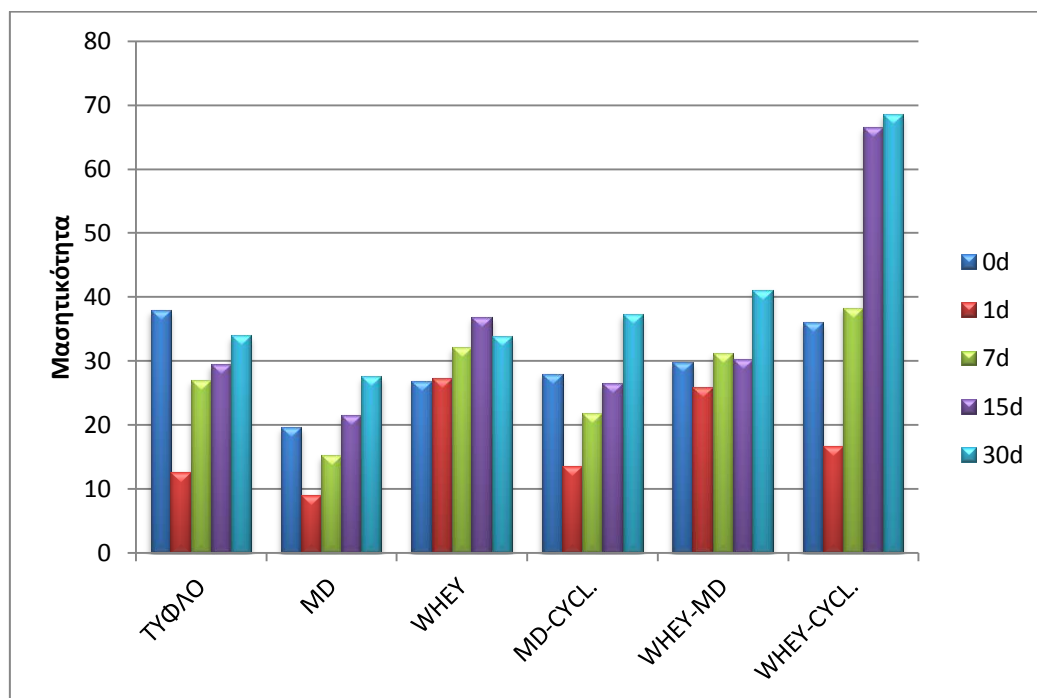
**Μεταβολή ελαστικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.31. Μεταβολή ελαστικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι η ελαστικότητα των αρτοσκευασμάτων αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Εξάιρεση αποτελεί το τυφλό δείγμα του οποίου η ελαστικότητα μειώνεται όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα αποθήκευσης σε κατάψυξη. Ωστόσο, η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι η ελαστικότητα των αρτοσκευασμάτων δεν επηρεάζεται σημαντικά ούτε από το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αρτοποιίας ούτε από το χρονικό διάστημα παραμονής υπό κατάψυξη. Τα δείγματα με καλύτερη ελαστικότητα είναι εκείνα με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη και σε σκόνη ορού γάλακτος.

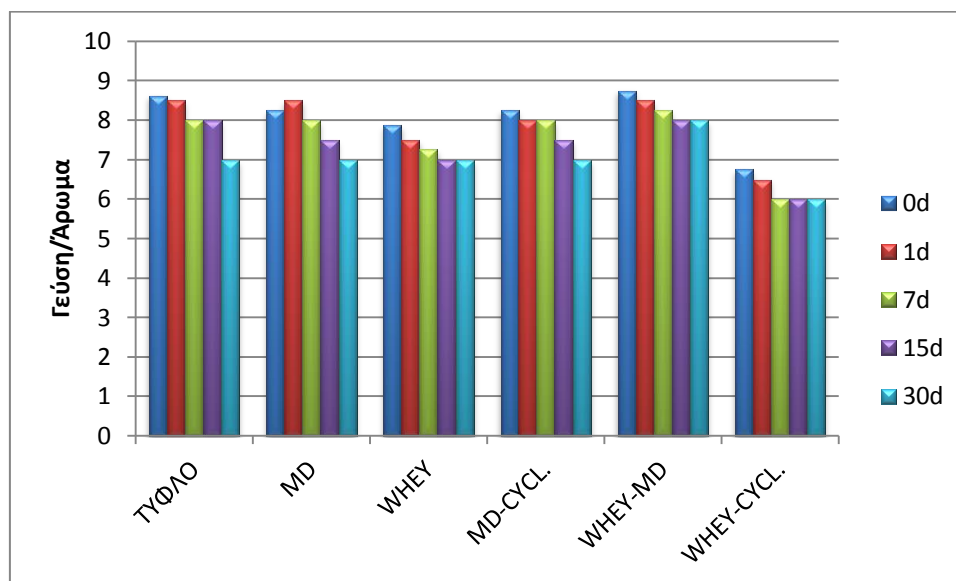
**Μεταβολή μασητικότητα αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.33. Μεταβολή μασητικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.33. παρουσιάζεται η μεταβολή της μασητικότητας των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι. Παρατηρώντας το, προκύπτει ότι η μασητικότητα των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει διακυμάνσεις καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι στη μασητικότητα του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επίδραση τόσο του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς ( $p < 0,05$ ).

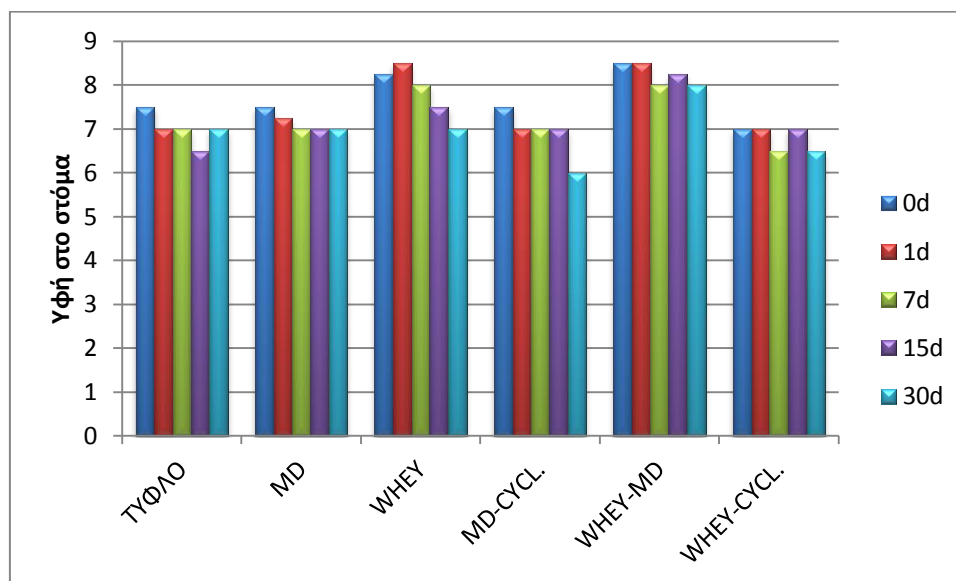
**Μεταβολή γεύσης/αρώματος αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.34. Μεταβολή γεύσης/αρώματος αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι η γεύση των αρτοσκευασμάτων αλλιώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η μείωση αυτή παρατηρείται κυρίως την πρώτη και την έβδομη ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη ενώ τις επόμενες τείνει να παραμένει σταθερή. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε ότι στη γεύση του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επίδραση τόσο του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων που διατήρησαν καλύτερα τη γεύση τους μετά από ένα μήνα αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη είναι εκείνα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας έγινε σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

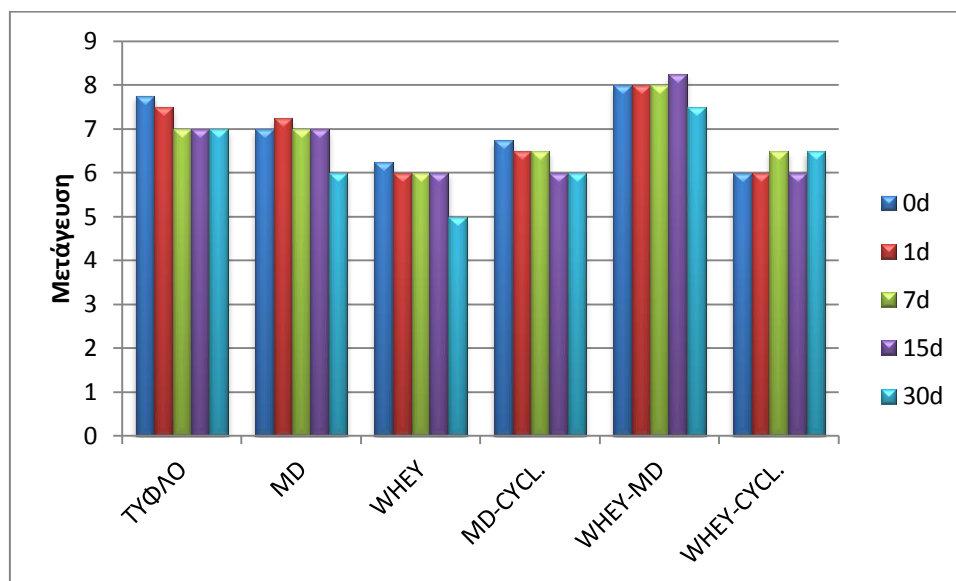
**Μεταβολή υφής στο στόμα αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.35. Μεταβολή υφής στο στόμα αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.35. παρουσιάζεται η μεταβολή της υφής στο στόμα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι. Παρατηρώντας το, προκύπτει ότι η υφή στο στόμα των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε ότι στην υφή στο στόμα του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επίδραση τόσο του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων που είχαν καλύτερη υφή στο στόμα ακόμα και μετά από ένα μήνα αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη είναι εκείνα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας έγινε σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

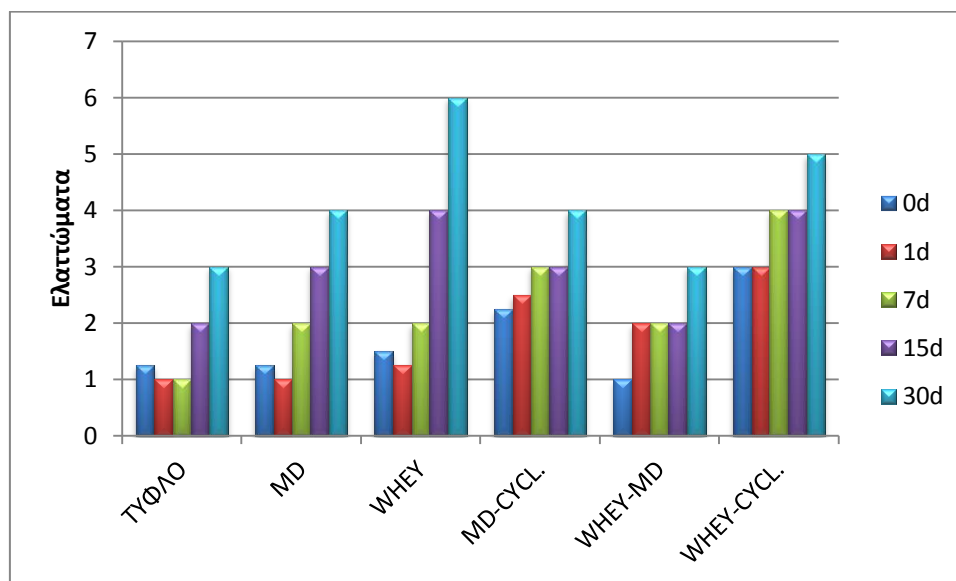
**Μεταβολή μετάγευσης αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.36. Μεταβολή μετάγευσης αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.36. παρουσιάζεται η μεταβολή της μετάγευσης των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο όπως αυτή αξιολογήθηκε από την ομάδα δοκιμαστών. Παρατηρώντας το διάγραμμα, προκύπτει ότι η μετάγευση των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε ότι στη μετάγευση του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επίδραση τόσο του χρόνου αποθήκευσης σε κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αρτοποιίας ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων που είχαν καλύτερη μετάγευση ακόμα και μετά από ένα μήνα αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη είναι και πάλι εκείνα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας έγινε σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

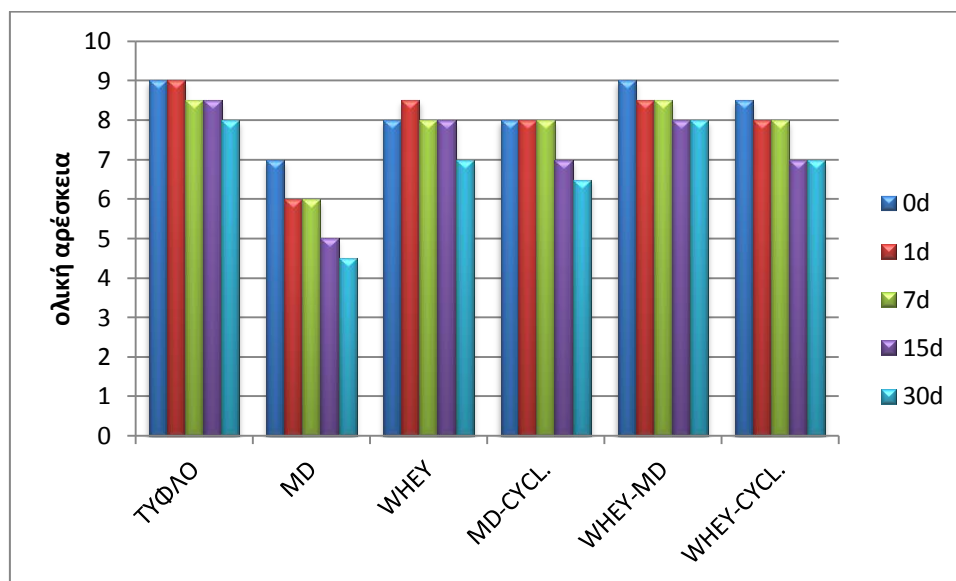
**Μεταβολή ελαττωμάτων αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**



Διάγραμμα 11.37. Μεταβολή ελαττωμάτων αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.37. φαίνεται πως τα ελαττώματα των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων εμφανίζουν τάση αύξησης καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία υποδεικνύει ότι τα ελαττώματα των αρτοσκευασμάτων εξαρτώνται τόσο από τα εγκλειστικά μέσα που συμμετέχουν στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς αρτοποιίας, όσο και από το χρονικό διάστημα παραμονής των δειγμάτων των ζυμαριών υπό κατάψυξη ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων που εμφάνισαν τα λιγότερα ελαττώματα ακόμα και μετά από ένα μήνα αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη είναι εκείνα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας έγινε σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

**Μεταβολή ολικής αρέσκειας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά**

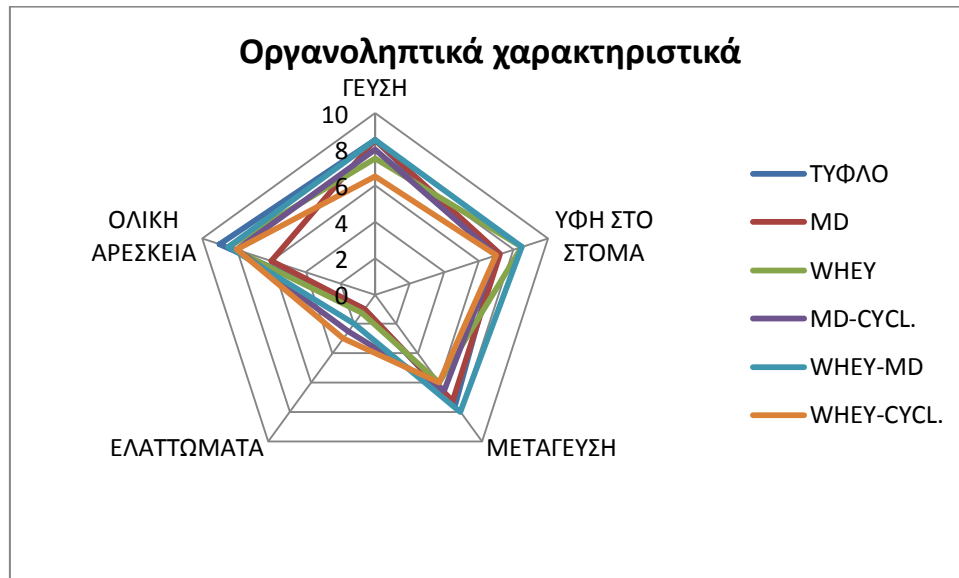


Διάγραμμα 11.38. Μεταβολή ολικής αρέσκειας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά

Στο διάγραμμα 11.38. φαίνεται πως η ολική αρέσκεια των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων εμφανίζει τάση μείωσης καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία υποδεικνύει ότι η ολική αρέσκεια εξαρτάται τόσο από τα εγκλειστικά μέσα που συμμετέχουν στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς, όσο και από το χρονικό διάστημα παραμονής των δειγμάτων των ζυμαριών υπό κατάψυξη ( $p < 0,05$ ). Συνολικά, οι δοκιμαστές έδειξαν προτίμηση στα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

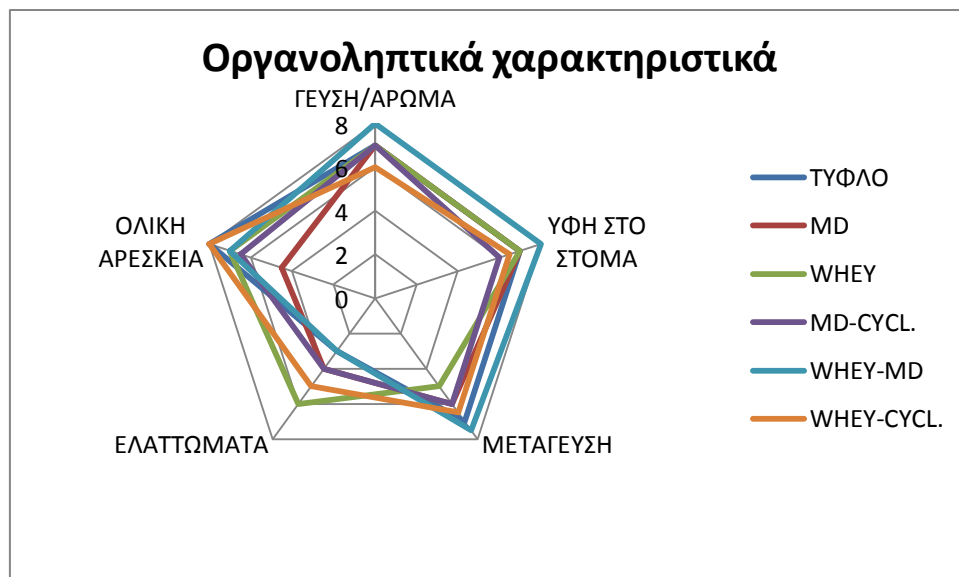


Συνολική απεικόνιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη



Διάγραμμα 11.39. Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη

Συνολική απεικόνιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά την 30<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη

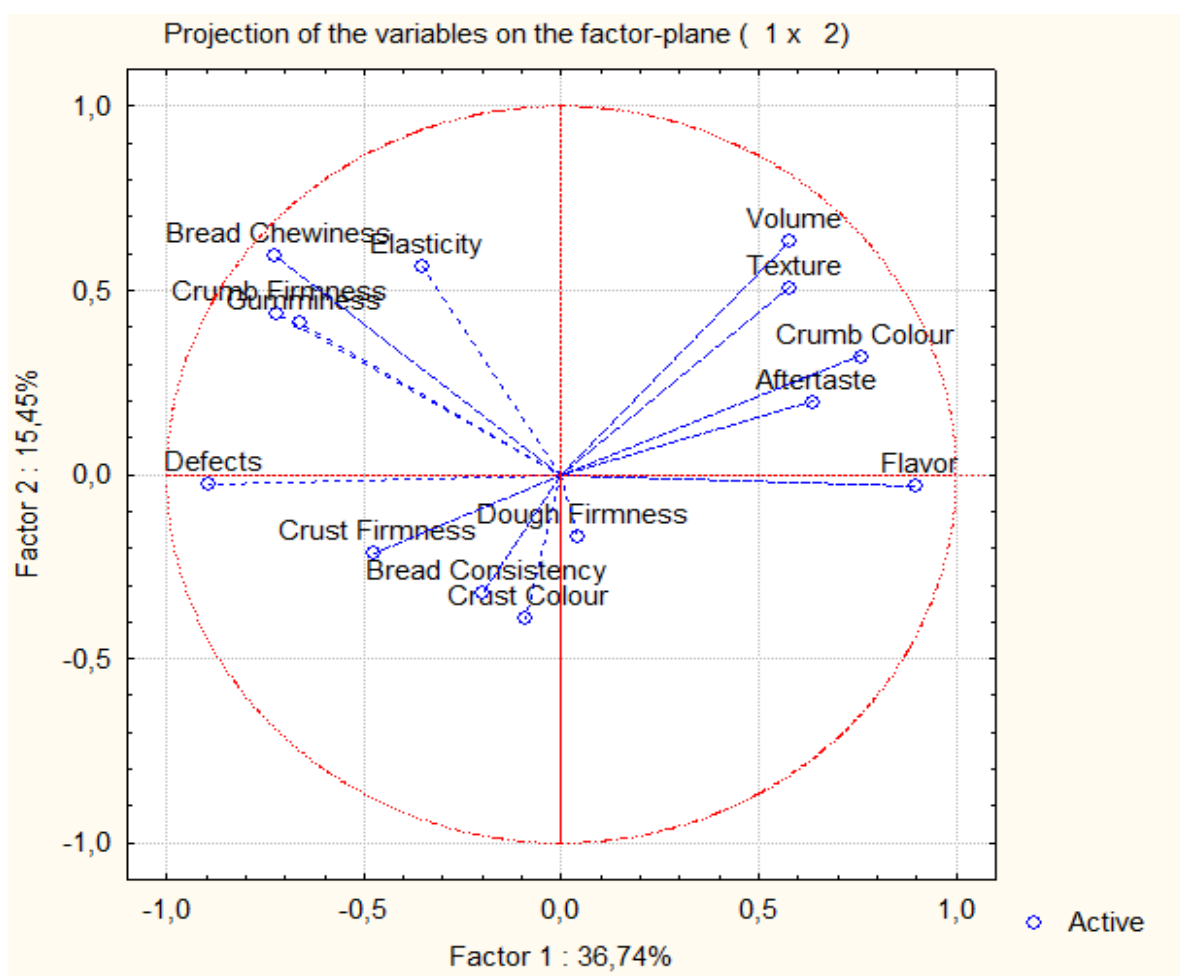


Διάγραμμα 11.40. Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά την 30<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά που προέκυψαν από κατεψυγμένο ζυμάρι μετά από χρονικό διάστημα μίας ημέρας και 30 ημερών αποθήκευσης υπό κατάψυξη αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι παρόλο που τα ελαττώματα των αρτοσκευασμάτων αυξάνονται κατά την αποθήκευση των ζυμαριών, η ολική αρέσκεια των αρτοσκευασμάτων δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Το δείγμα αρτοσκευάσματος με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος παρουσιάζει τα λιγότερα ελαττώματα και την καλύτερη γεύση μετά τις 30 ημέρες παραμονής του ζυμαριού υπό κατάψυξη.

### Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA)

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών των οργανοληπτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων της 2<sup>ης</sup> σειράς πειραμάτων :

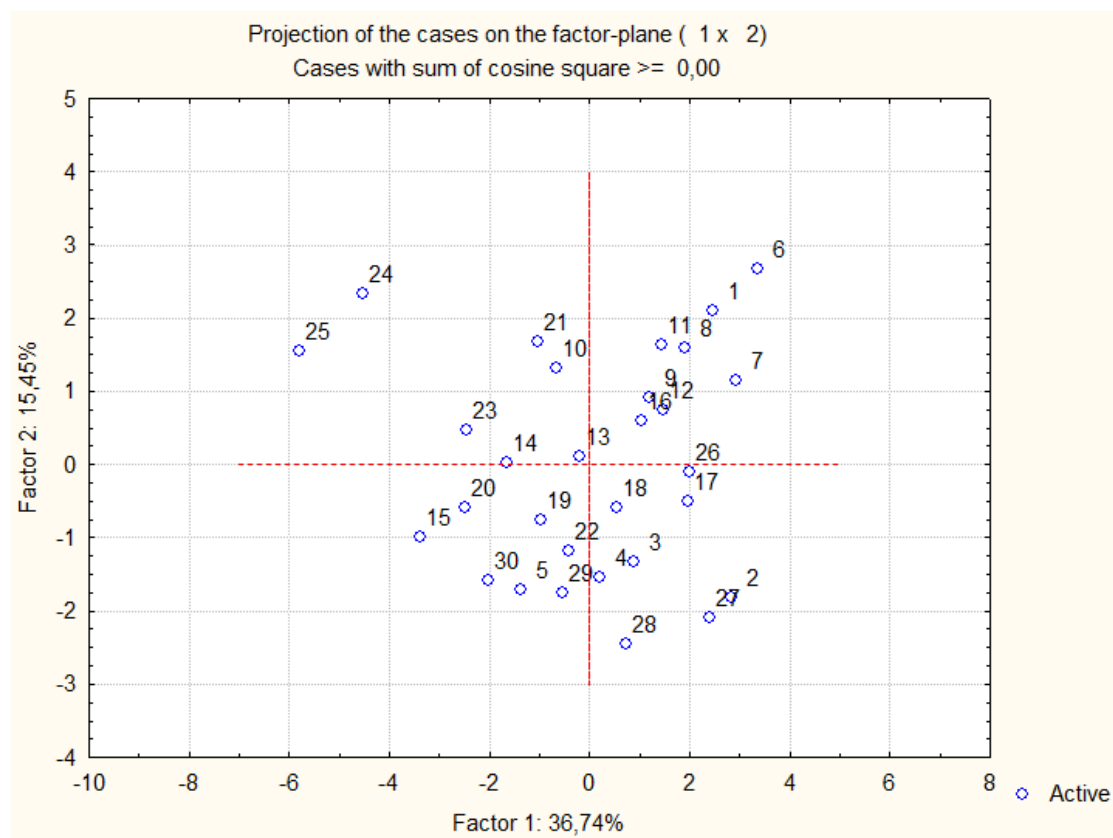


Εικόνα 11.1. Αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης σε 2 κύριες συνιστώσες μετρήσεων ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων της 2<sup>ης</sup> σειράς πειραμάτων

Το διάγραμμα παραγοντικής ανάλυσης έδωσε δύο κύριες συνιστώσες από τις οποίες η πρώτη έχει 36,74 % και η δεύτερη 15,45 % συνεισφορά στη συνολική διακύμανση του πειράματος.

Από το διάγραμμα 11.1. δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η γεύση/άρωμα και το χρώμα της ψίχας των αρτοσκευασμάτων έχουν σημαντική θετική επίδραση ενώ τα ελαττώματα, η μασητικότητα και η σκληρότητα ψίχας των αρτοσκευασμάτων έχουν σημαντική αρνητική επίδραση στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Στη δεύτερη κύρια συνιστώσα δεν υπάρχει κάποιο οργανοληπτικό ή ποιοτικό χαρακτηριστικό που να έχει σημαντική επίδραση.

Στο διάγραμμα της εικόνας 11.2. απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις δύο κύριες συνιστώσες.



Εικόνα 11.2. Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων της 2<sup>ης</sup> σειράς πειραμάτων με ανάλυση κύριων συνιστωσών

Τα δείγματα 24, 25 αναφέρονται σε αρτοσκευάσματα στα οποία για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας έχει χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός σκόνη ορού

γάλακτος – κυκλοδεξτρίνη και τα ζυμάρια αυτών έχουν αποθηκευτεί σε κατάψυξη 15 και 30 ημέρες αντίστοιχα. Τα δείγματα αυτά φαίνεται να εμφάνισαν μεγάλες τιμές κομμώδους.

Τα δείγματα 9, 8, 1, 6, εμφάνισαν μεγάλες τιμές όγκου. Τα δείγματα 6, 8, 9, αναφέρονται σε αρτοσκευάσματα το οποία προέκυψαν από μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη - σκόνη ορού γάλακτος και τα ζυμάρια αυτών αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη για 0, 7, και 15 ημέρες αντίστοιχα ενώ το δείγμα 1 αναφέρεται σε φρέσκο αρτοσκευάσμα στο οποίο η μαγιά δεν έχει εγκλειστεί σε κάποιο φορέα εγλεισμού.

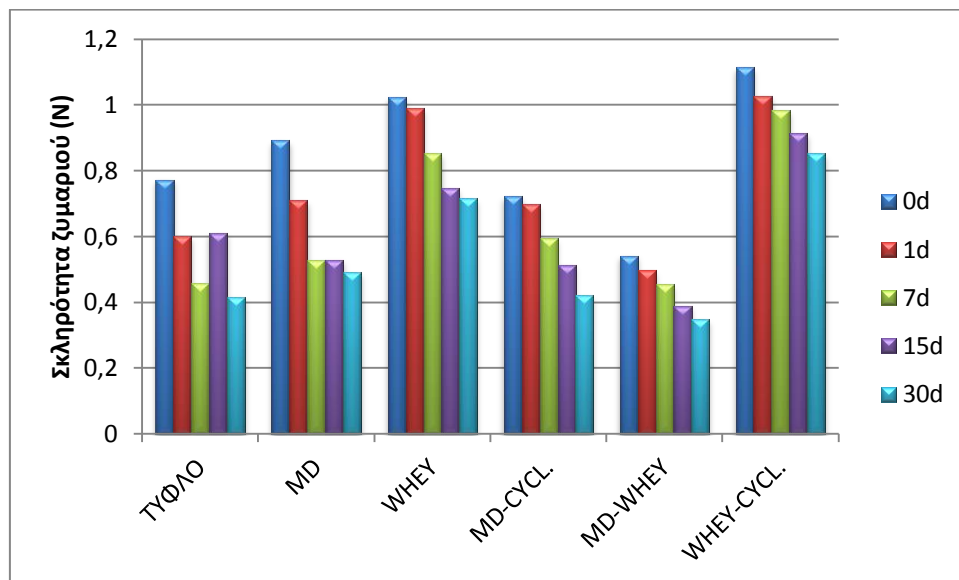
Τα δείγματα 19, 30, 5 και 29 εμφάνισαν μεγάλες τιμές χρώματος ψίχας και συνεκτικότητας. Τα δείγματα 19 και 29 αναφέρονται σε αρτοσκευάσματα των οποίων τα ζυμάρια παρέμειναν υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα 15 ημερών και η μαγιά είχε εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη – κυκλοδεξτρίνη και μαλτοδεξτρίνη αντίστοιχα. Τα δείγματα 30 και 5 αναφέρονται σε αρτοσκευάσματα των οποίων τα ζυμάρια παρέμειναν υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα 30 ημερών και η μαγιά στο δείγμα 30 είχε εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη ενώ στο δείγμα 5 η μαγιά δεν είχε υποστεί εγκλεισμό.

11.3. Σειρά 3<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου κατάψυξης με τη χρήση τρεχαλόζης ως κρυοπροστατευτικό της μαγιάς

Σκοπός

Σκοπός αυτής της σειράς μετρήσεων είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά των αρτοσκευασμάτων σε συνθήκες κατάψυξης όταν έχει προστεθεί στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς η τρεχαλόζη ως κρυοπροστατευτικό των κυττάρων της μαγιάς. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα έως ενός μήνα. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν δειγματοληψία για κάθε δείγμα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

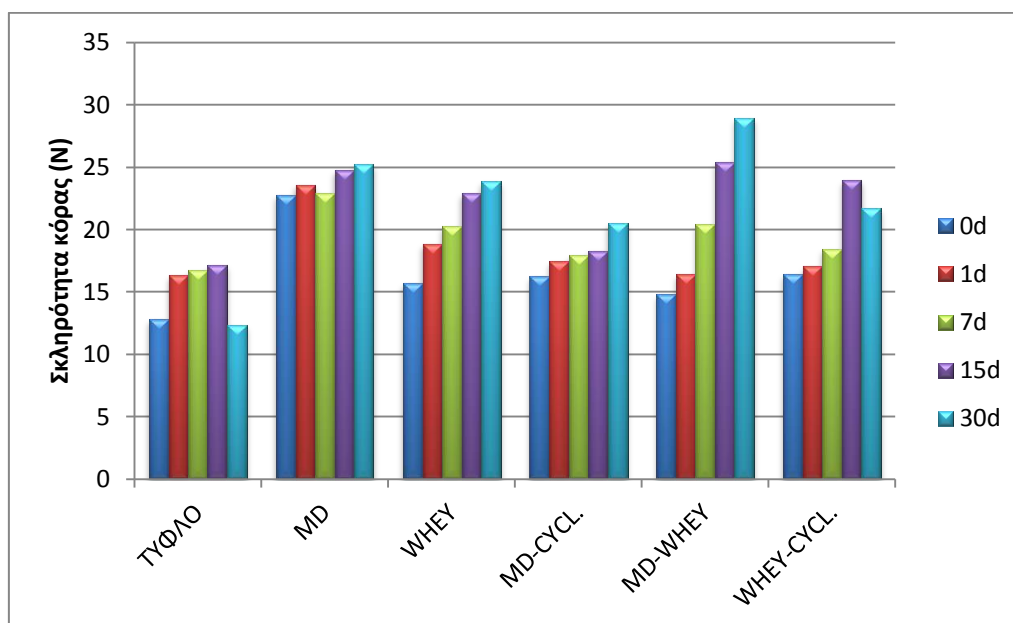


Διάγραμμα 11.41. Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.41. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας του ζυμαριού με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Σε όλα τα δείγματα παρατηρείται τάση μείωσης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται η παραμονή των δειγμάτων υπό κατάψυξη. Όπως υποδεικνύει η στατιστική επεξεργασία η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται τόσο από το χρόνο παραμονής στην κατάψυξη όσο και από τα εγκλειστικά μέσα της μαγιάς που έχουν χρησιμοποιηθεί ( $p < 0,05$ ). Ωστόσο, φαίνεται ότι στα δείγματα στα οποία η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη-ορό

γάλακτος, η σκληρότητα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του «τυφλού» δείγματος.

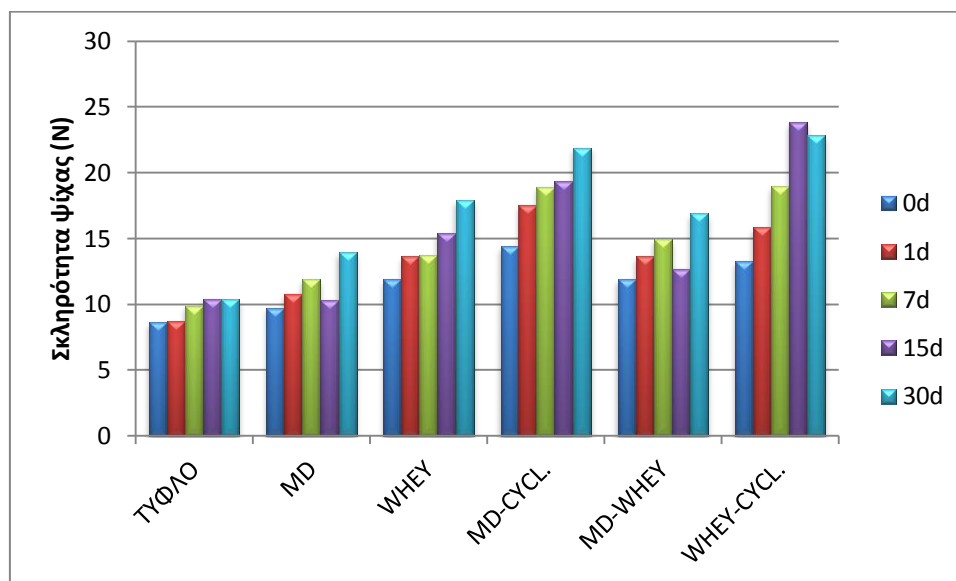
### Μεταβολή σκληρότητας κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη



Διάγραμμα 11.42. Μεταβολή σκληρότητας κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.42. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της κόρας των αρτοσκευασμάτων κατά την κοπή με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Η πλειονότητα των περιπτώσεων των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της κόρας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα της δεύτερης σειράς πειραμάτων, παρατηρείται πως η παρουσία της τρεχαλόζης συνέβαλε στο να μην υπάρχουν ακραίες τιμές σκληρότητας και να είναι πιο ομαλές οι μεταβολές της.

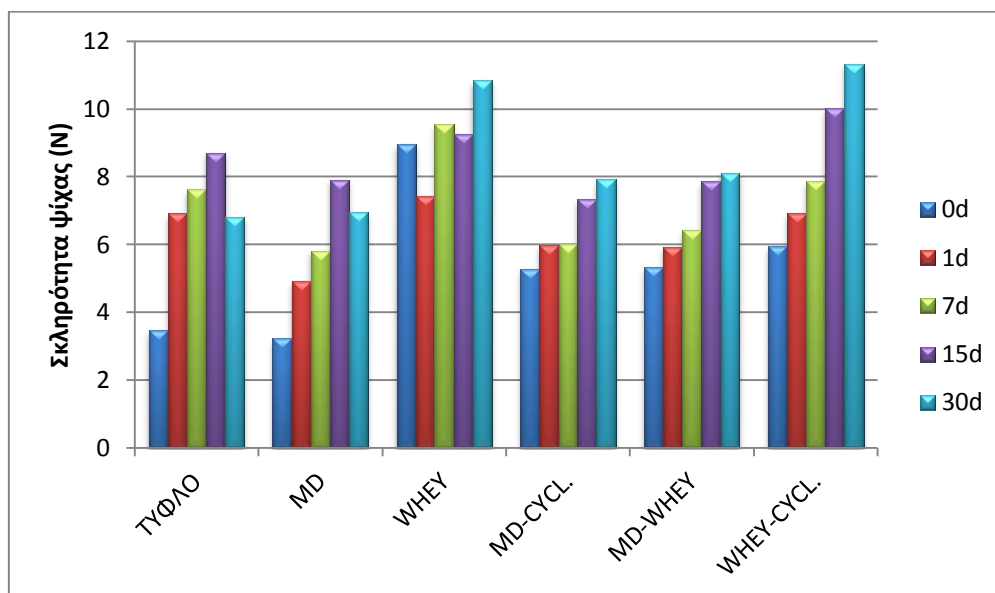
**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.43. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.43. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όπως αυτή εκτιμήθηκε κατά την κοπή του δείγματος. Η πλειονότητα των περιπτώσεων των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία, τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της κόρας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με το «τυφλό» δείγμα όσον αφορά τη σκληρότητα της ψίχας.

**Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπύεση) αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**

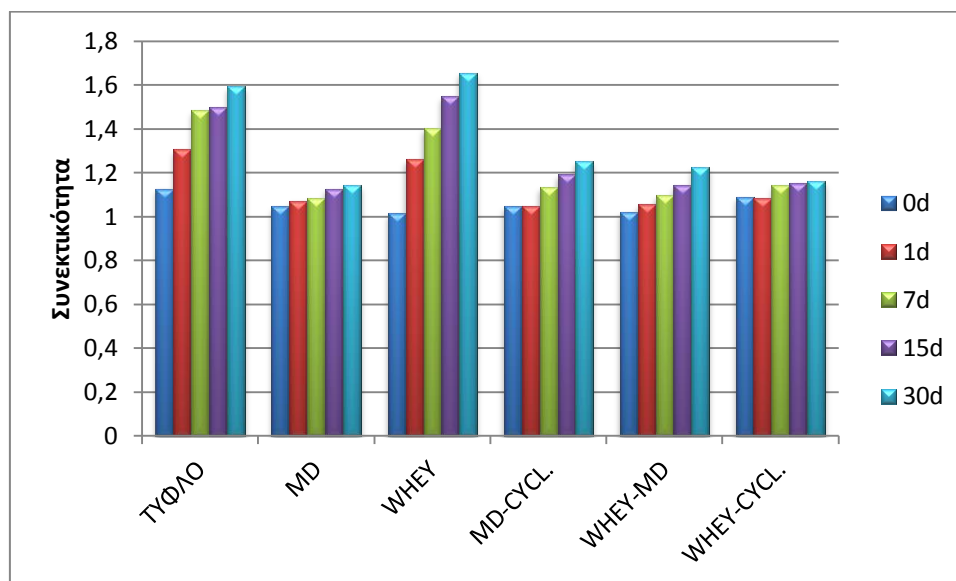


Διάγραμμα 11.44. Μεταβολή σκληρότητας ψίχας (συμπύεση) αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.44. παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη, όπως αυτή εκτιμήθηκε κατά τη συμπύεση δείγματος με κύλινδρο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι, όπως αναμενόταν, αντίστοιχα, αν όχι όμοια, με τα αποτελέσματα της μέτρησης της σκληρότητας μέσω κοπής των δειγμάτων και επιβεβαιώνονται από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ). Τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της ψίχας των αρτοσκευασμάτων. Τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη παρουσιάζουν και πάλι παρόμοια συμπεριφορά με το «τυφλό» δείγμα όσον αφορά τη σκληρότητα της ψίχας κατά τη συμπύεση.



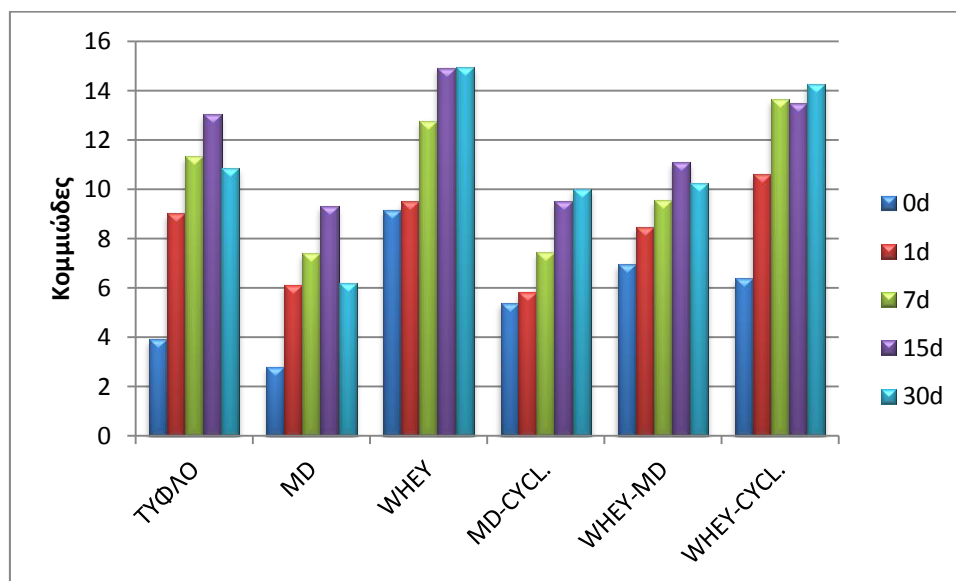
**Μεταβολή συνεκτικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.45. Μεταβολή συνεκτικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.45. παρουσιάζεται η μεταβολή της συνεκτικότητας των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη, όπως αυτή εκτιμήθηκε κατά τη συμπίεση δείγματος με κύλινδρο. Τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη σκληρότητα της ψίχας των αρτοσκευασμάτων, κάτι που αποδείχθηκε και μέσω της στατιστικής επεξεργασίας ( $p < 0,05$ ). Η συνεκτικότητα των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει αύξηση όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα παραμονής υπό κατάψυξη αλλά με σχετικά μικρές μεταβολές και χωρίς να φτάνει ακραίες τιμές.

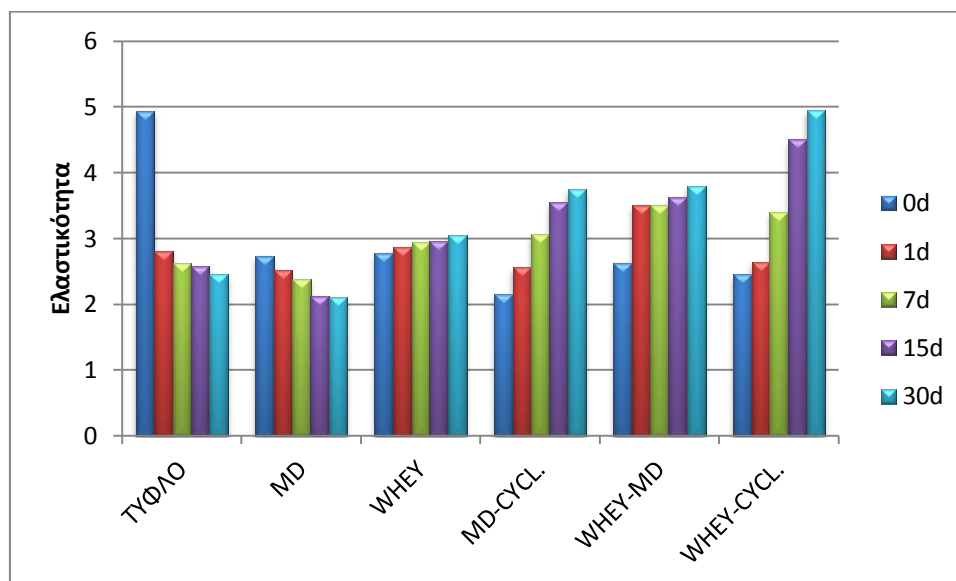
**Μεταβολή κομμίδους αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.46. Μεταβολή κομμίδους αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.46. παρουσιάζεται η μεταβολή του κομμίδους των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά το κομμίδες των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ). Το κομμίδες των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει αύξηση όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα παραμονής υπό κατάψυξη αλλά τα δείγματα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς έχει γίνει σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος παρουσιάζουν τιμές κομμίδους παρόμοιες με του τυφλού δείγματος.

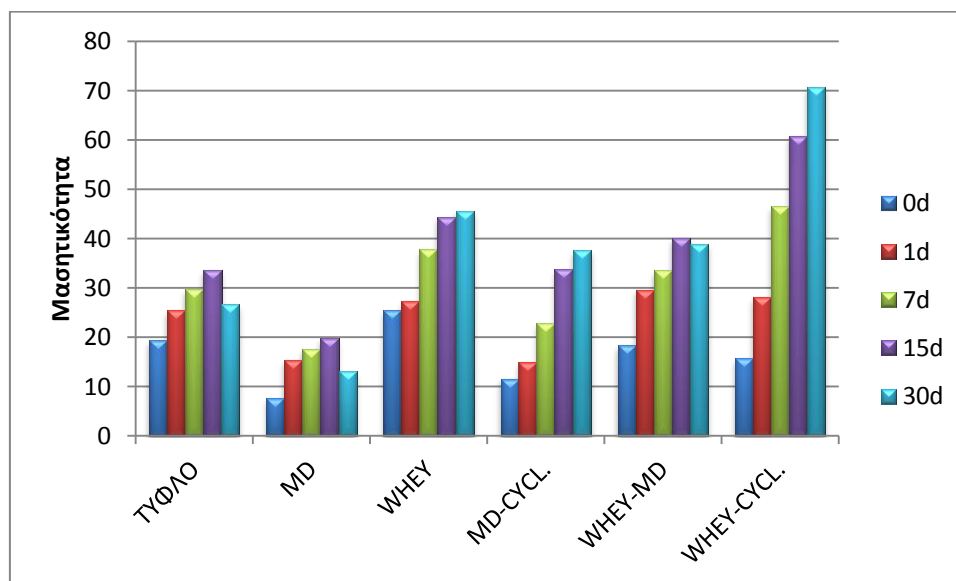
**Μεταβολή ελαστικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.47. Μεταβολή ελαστικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.47. παρουσιάζεται η μεταβολή της ελαστικότητας των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Μέσω της στατιστικής επεξεργασίας βρέθηκε ότι η ελαστικότητα των αρτοσκευασμάτων δεν επηρεάζεται σημαντικά ούτε από το χρόνο αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη ούτε από το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς.

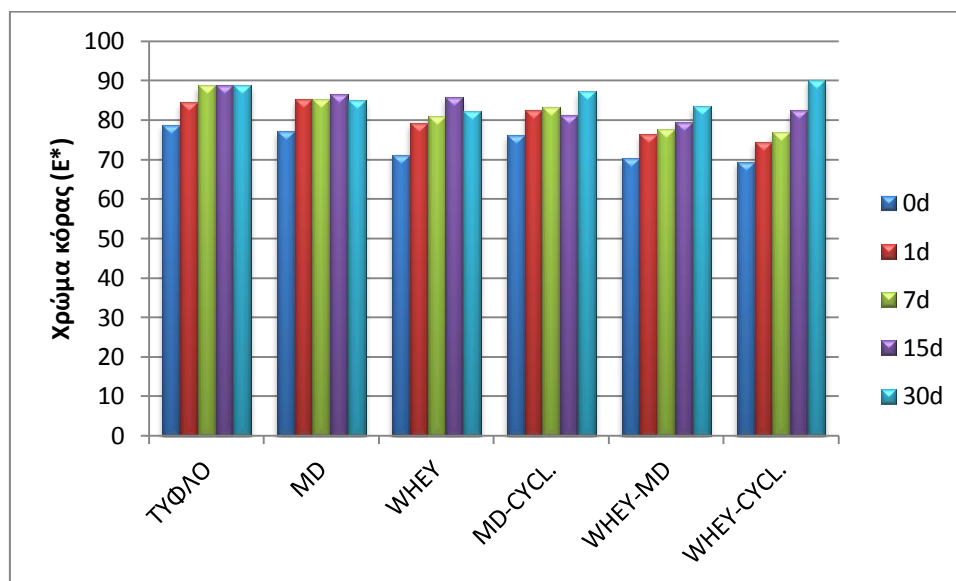
**Μεταβολή μασητικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.48. Μεταβολή μασητικότητας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

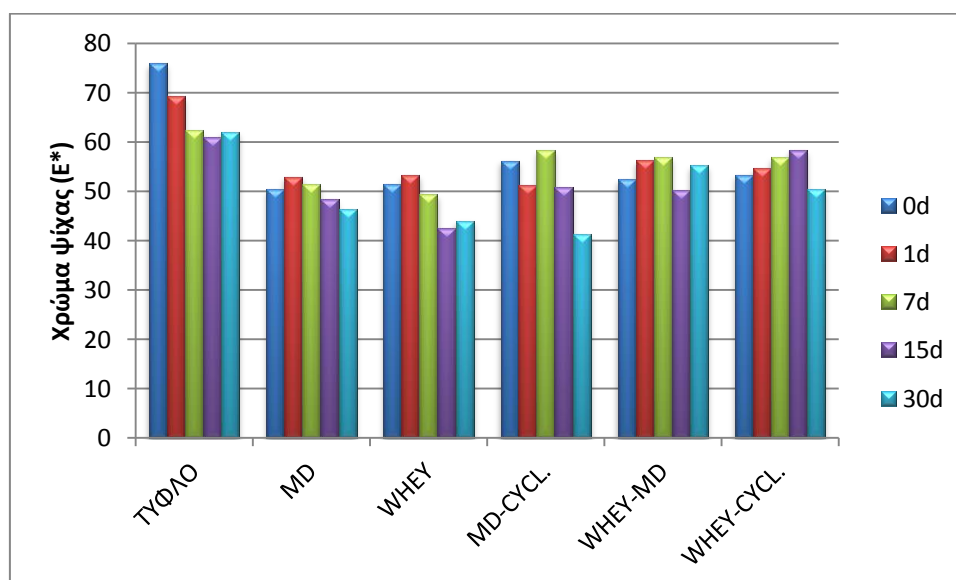
Στο διάγραμμα 11.48. παρουσιάζεται η μεταβολή της μασητικότητας των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο αποθήκευσης σε κατάψυξη. Τόσο ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη μασητικότητα των αρτοσκευασμάτων, κάτι που αποδείχθηκε και μέσω της στατιστικής επεξεργασίας ( $p < 0,05$ ). Η μασητικότητα των αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει αύξηση όσο αυξάνεται το χρονικό διάστημα παραμονής των ζυμαριών υπό κατάψυξη.

**Μεταβολή χρώματος κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.49. Μεταβολή χρώματος κόρας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

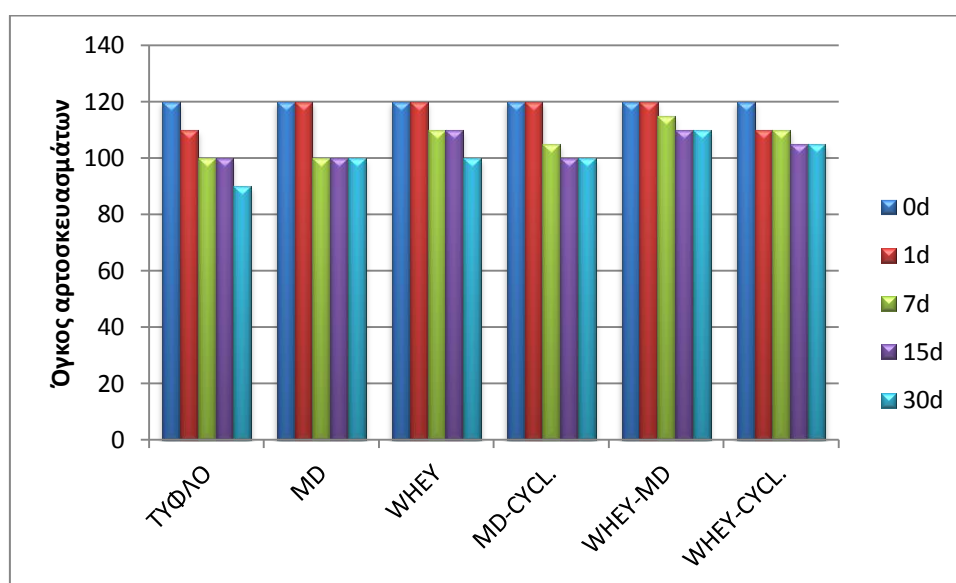
**Μεταβολή χρώματος ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.50. Μεταβολή χρώματος ψίχας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα (11.49,11.50) προκύπτει ότι ενώ το χρώμα της κόρας των αρτοσκευασμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των ζυμαριών υπό κατάψυξη, το χρώμα της ψίχας των αρτοσκευασμάτων σταδιακά μειώνεται. Η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι τόσο ο χρόνος παραμονής των ζυμαριών υπό κατάψυξη όσο και το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά το χρώμα της κόρας και της ψίχας των αρτοσκευασμάτων ( $p < 0,05$ ).

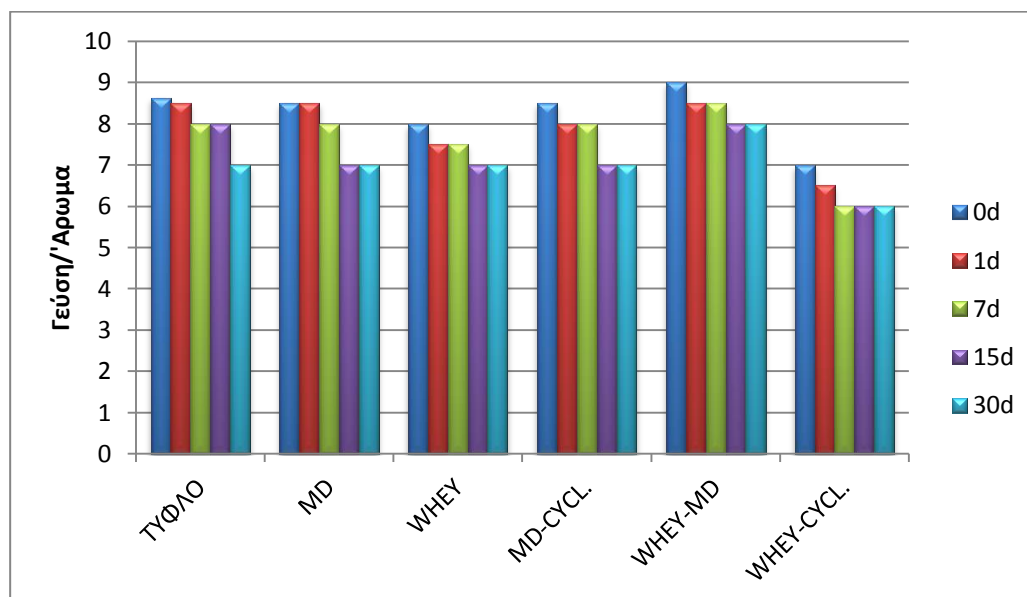
### Μεταβολή όγκου αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη



Διάγραμμα 11.51. Μεταβολή όγκου αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι ο όγκος των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η μείωση αυτή παρατηρείται κυρίως την πρώτη και την έβδομη μέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη, ενώ τις επόμενες ημέρες τείνει να παραμένει σταθερό. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ), η οποία έδειξε ότι στον όγκο του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επιρροή τόσο του χρόνου αποθήκευσης του ζυμαριού υπό κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς. Η παρουσία τρεχαλόζης, φαίνεται να ενισχύει τον όγκο των αρτοσκευασμάτων σε σχέση με τον όγκο της 2<sup>ης</sup> σειράς πειραμάτων. Τα δείγματα στα οποία η μαγιά έχει εγκλειστεί σε σκόνη ορού γάλακτος – μαλτοδεξτρίνη είναι αυτά που εμφάνισαν το μεγαλύτερο όγκο ακόμα και μετά το πέρας 30 ημερών αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη.

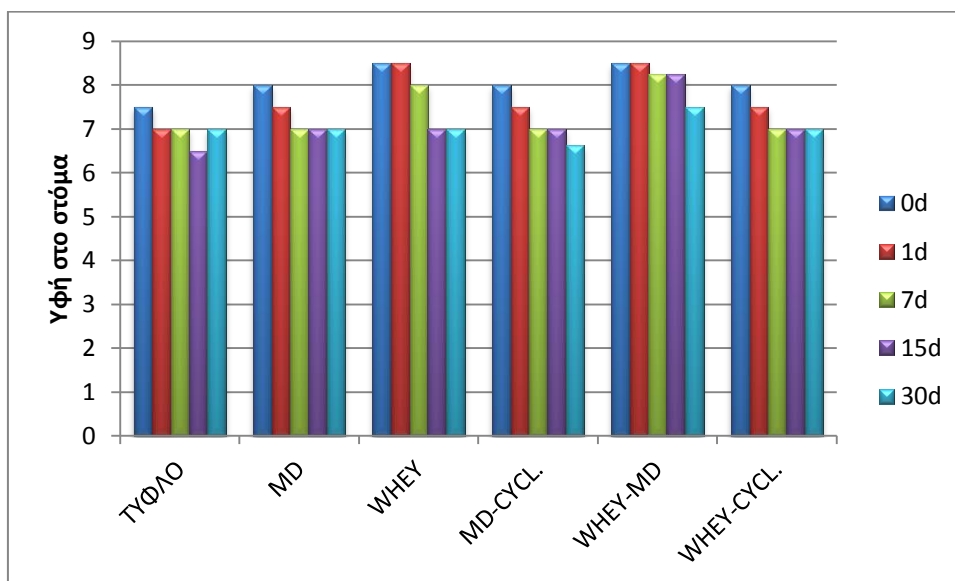
**Μεταβολή γεύσης/αρώματος αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.52. Μεταβολή γεύσης/αρώματος αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτει ότι η γεύση των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών σε κατάψυξη. Η στατιστική επεξεργασία υπέδειξε ότι στη γεύση του αρτοσκευάσματος είναι σημαντική η επιρροή τόσο του χρόνου αποθήκευσης του ζυμαριού υπό κατάψυξη, όσο και του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς αρτοποιίας ( $p < 0,05$ ). Οι δοκιμαστές έδειξαν την προτίμησή τους στα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε σκόνη ορού γάλακτος – μαλτοδεξτρίνη και τρεχαλόζη.

**Μεταβολή υφής στο στόμα αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**

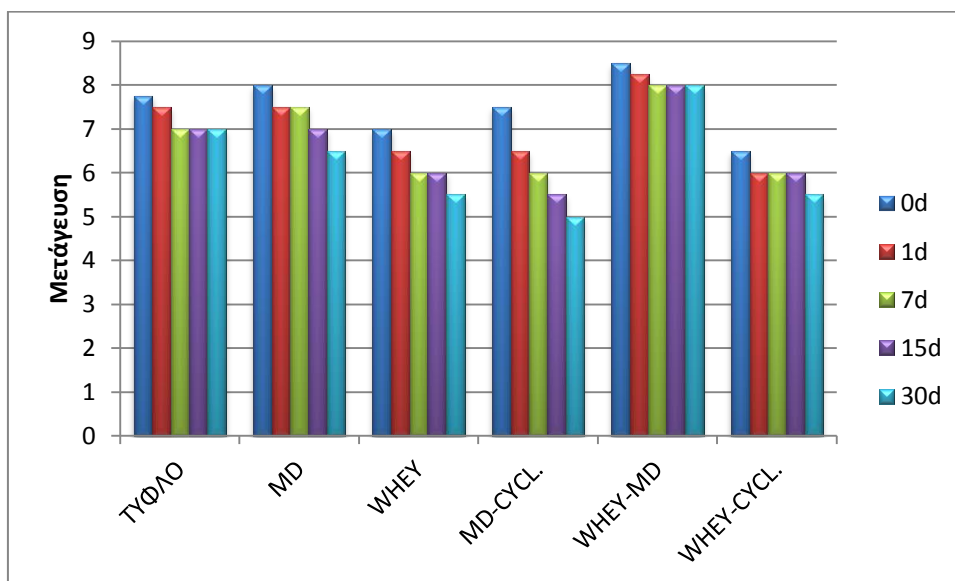


Διάγραμμα 11.53. Μεταβολή υφής στο στόμα αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.53. παρουσιάζεται η μεταβολή της υφής στο στόμα των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων όπως αυτή αξιολογήθηκε από την ομάδα δοκιμαστών. Η υφή στο στόμα φαίνεται να επηρεάζεται τόσο από το εγκλειστικό μέσο που έχει χρησιμοποιηθεί για τον εγκλεισμό της μαγιάς όσο και από το χρονικό διάστημα αποθήκευσης των δειγμάτων των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ).



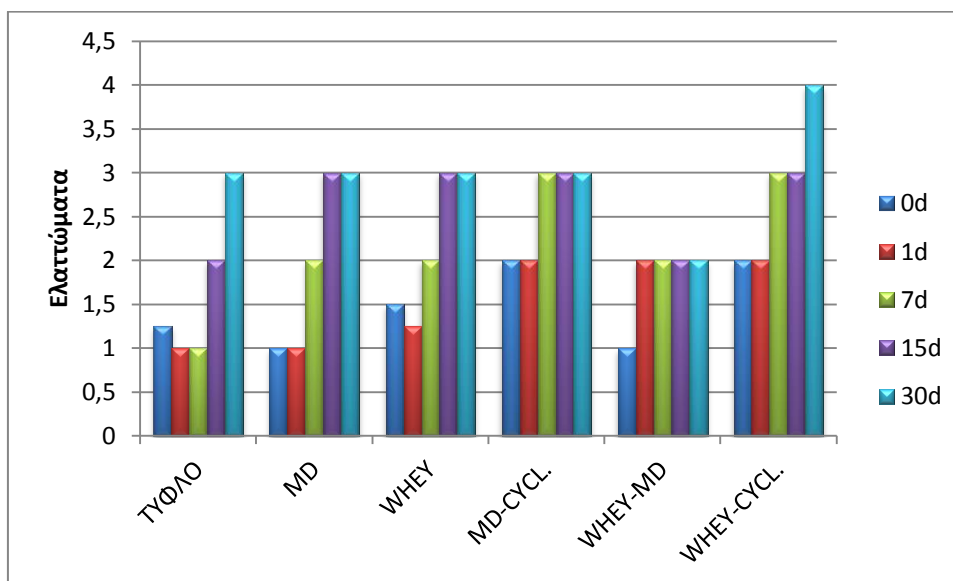
**Μεταβολή μετάγευσης αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.54. Μεταβολή μετάγευσης αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.54. παρουσιάζεται η μεταβολή της μετάγευσης των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι όπως αυτή αξιολογήθηκε από την ομάδα των δοκιμαστών. Όπως φαίνεται, η μετάγευση των αρτοσκευασμάτων μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των δειγμάτων των ζυμαριών σε κατάψυξη. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία ( $p < 0,05$ ) που έδειξε ότι τόσο ο χρόνος παραμονής των ζυμαριών σε κατάψυξη όσο και το είδος των εγκλειστικών μέσων της μαγιάς επηρεάζουν σημαντικά τη μετάγευση των αρτοσκευασμάτων. Καλύτερη μετάγευση παρουσιάζουν τα δείγματα με μαγιά εγκλεισμένη σε σκόνη ορού γάλακτος - μαλτοδεξτρίνη και τρεχαλόζη.

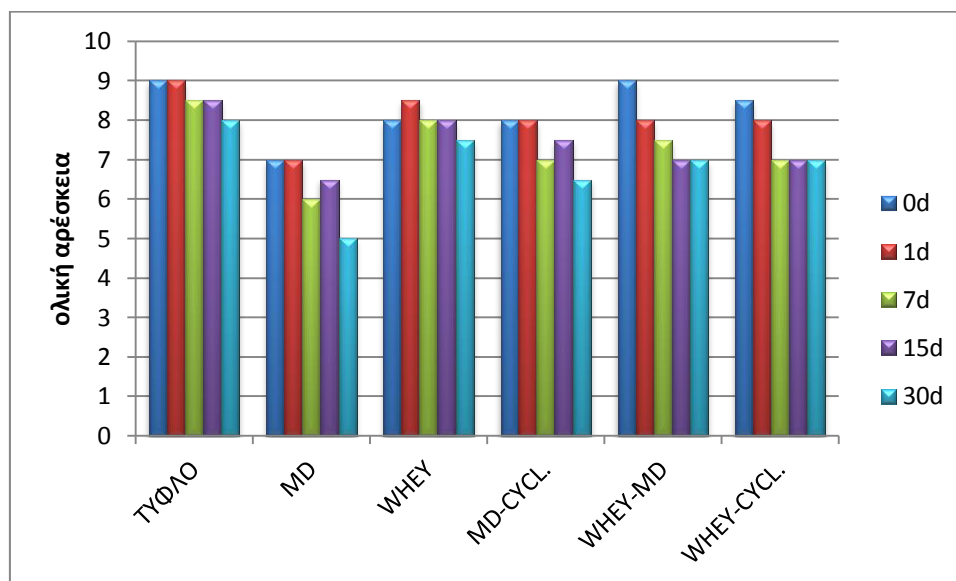
**Μεταβολή ελαττώματων αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.55. Μεταβολή ελαττώματων αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Στο διάγραμμα 11.55. φαίνεται πως τα ελαττώματα των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων εμφανίζουν τάση αύξησης καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία υποδεικνύει ότι τα ελαττώματα των αρτοσκευασμάτων εξαρτώνται τόσο από τα εγκλειστικά μέσα που συμμετέχουν στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς αρτοποιίας, όσο και από το χρονικό διάστημα παραμονής των δειγμάτων των ζυμαριών υπό κατάψυξη ( $p < 0,05$ ). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων που εμφάνισαν τα λιγότερα ελαττώματα ακόμα και μετά από ένα μήνα αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη είναι εκείνα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς αρτοποιίας έγινε σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

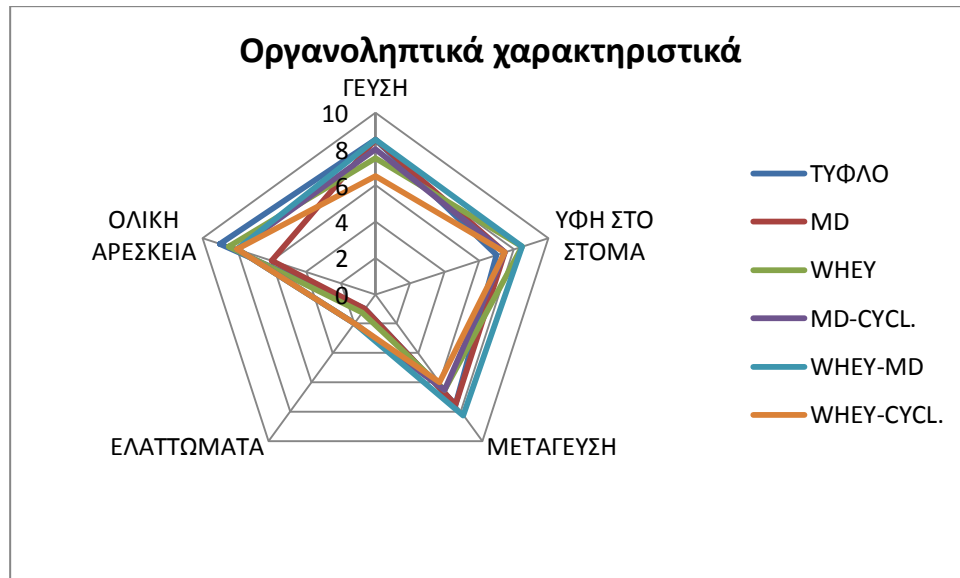
**Μεταβολή ολικής αρέσκειας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη**



Διάγραμμα 11.56. Μεταβολή ολικής αρέσκειας αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

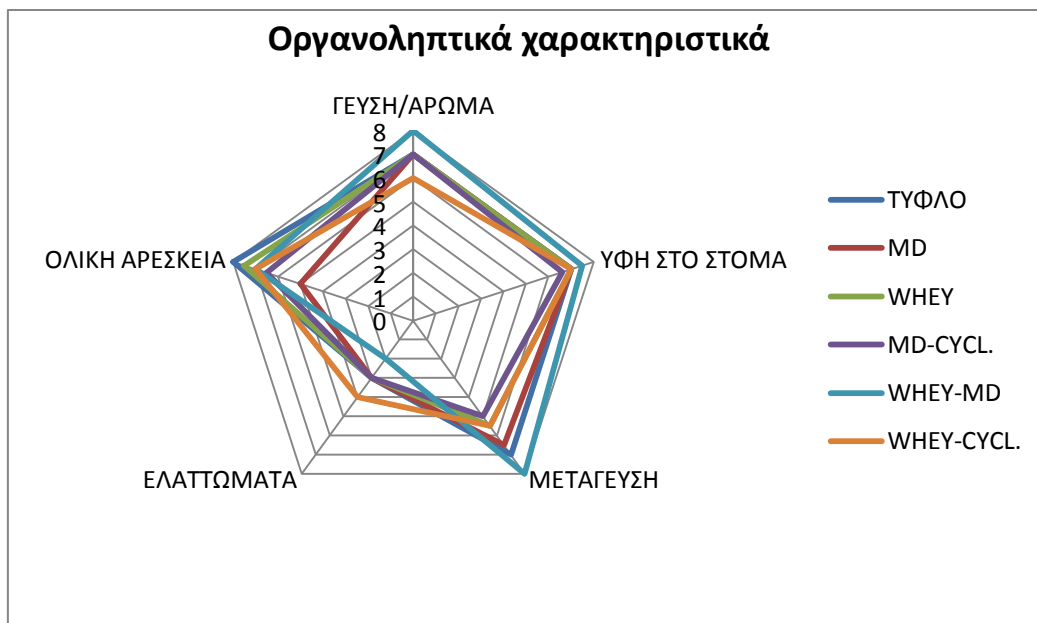
Στο διάγραμμα 11.56. φαίνεται πως η ολική αρέσκεια των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων εμφανίζει τάση μείωσης καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία υποδεικνύει ότι η ολική αρέσκεια εξαρτάται τόσο από τα εγκλειστικά μέσα που συμμετέχουν στη διαδικασία του εγκλεισμού της μαγιάς, όσο και από το χρονικό διάστημα παραμονής των δειγμάτων των ζυμαριών υπό κατάψυξη ( $p < 0,05$ ).

*Συνολική απεικόνιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη*



Διάγραμμα 11.57. Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη την 1<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη

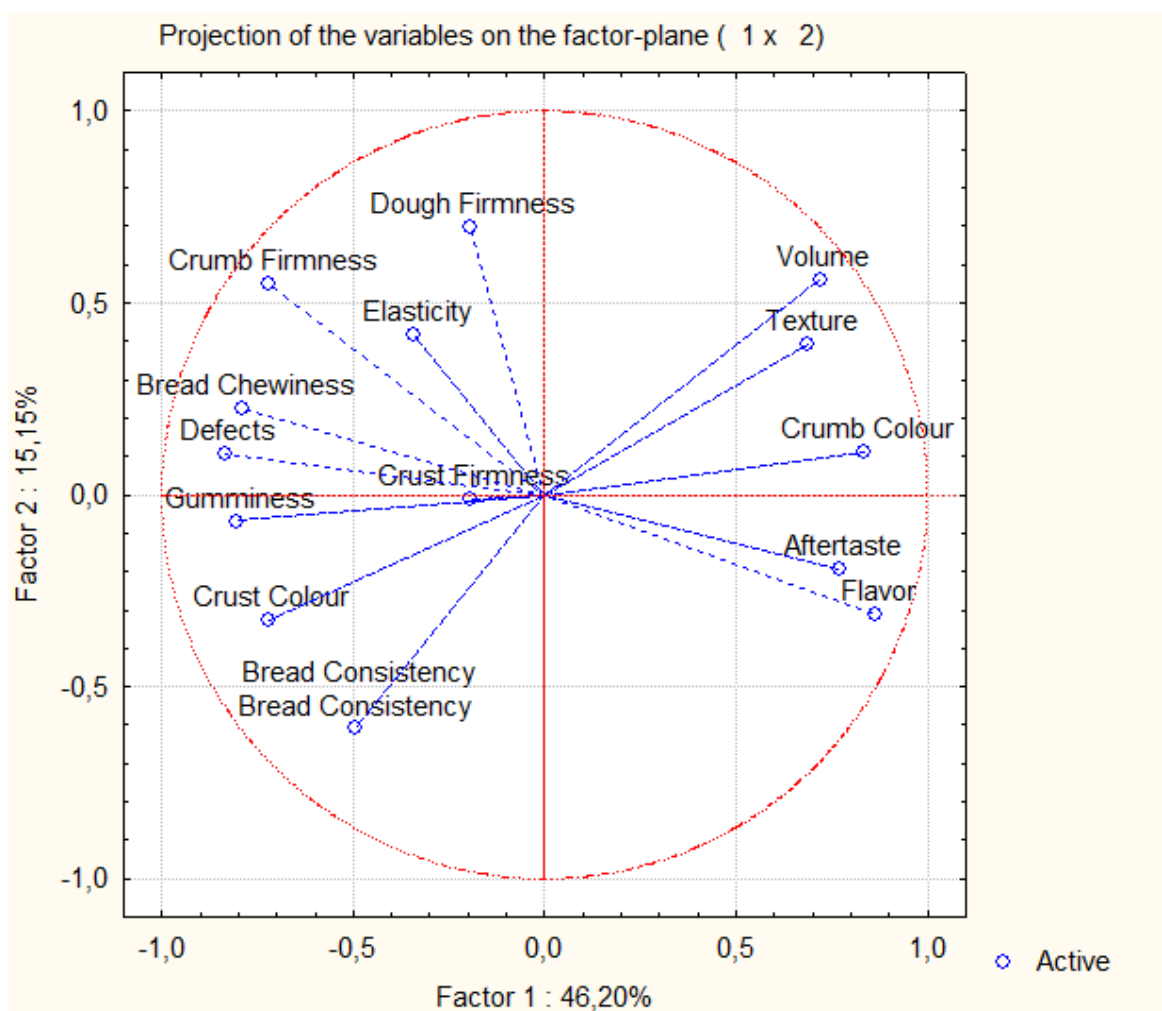
*Συνολική απεικόνιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη την 30<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη*



Διάγραμμα 11.58. Μεταβολή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων κατεψυγμένου ζυμαριού με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη την 30<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε κατάψυξη

Στα διαγράμματα 11.57 και 11.58 παρουσιάζονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη που προέκυψαν από κατεψυγμένο ζυμάρι μετά από 1 ημέρα και 30 ημέρες αποθήκευσης υπό κατάψυξη αντίστοιχα. Παρατηρώντας τα διαγράμματα προκύπτει ότι το οργανοληπτικό χαρακτηριστικό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβολή μετά το πέρας των 30 ημερών είναι τα ελαττώματα των αρτοσκευασμάτων με το δείγμα με μαγιά εγκλεισμένη σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος να παρουσιάζει τα λιγότερα ελαττώματα.

### Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA)

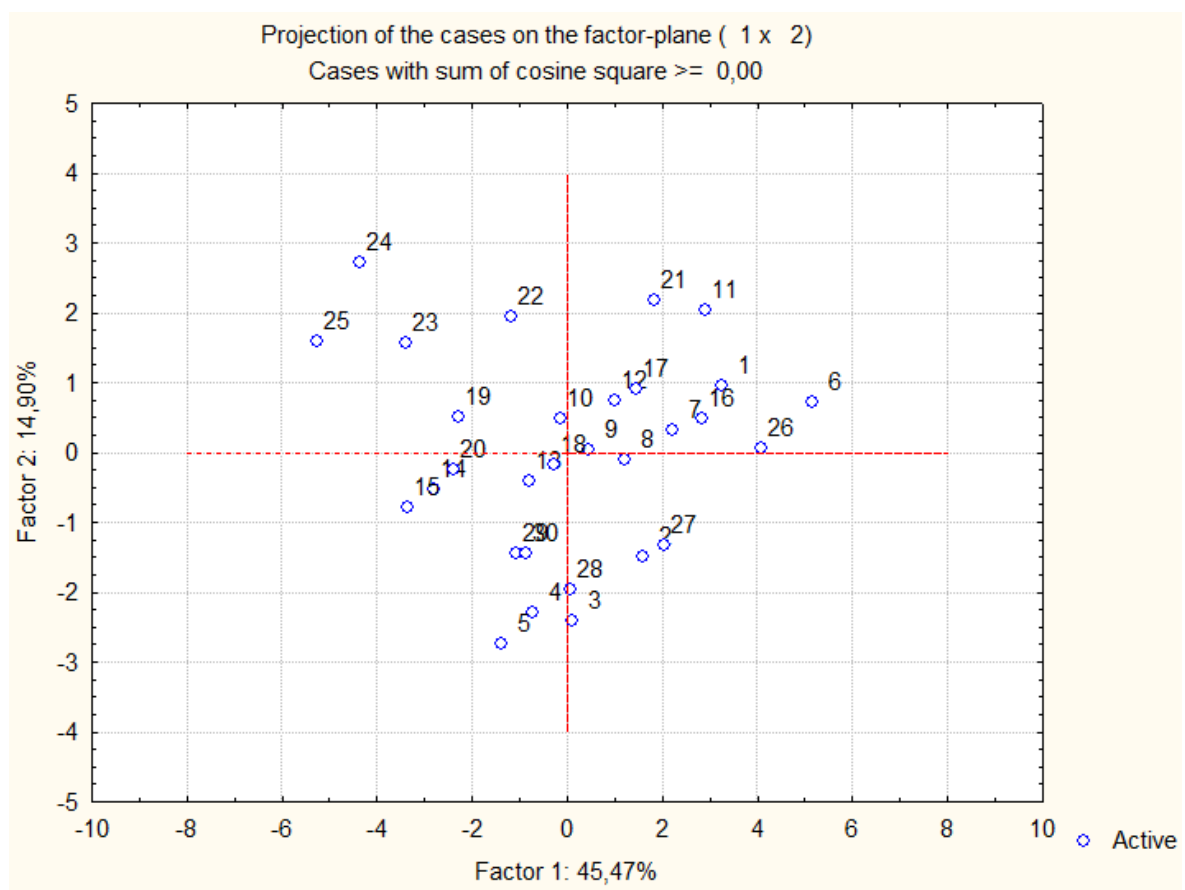


Εικόνα 11.3. Αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης σε 2 κύριες συνιστώσες μετρήσεων ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων της 3<sup>ης</sup> σειράς

Από την παραγοντική ανάλυση προέκυψε δύο είναι οι συγκεκριμένες συνιστώσες με συνεισφορά 45,47% και 14,90% και συνολική συνεισφορά 60,37% στη συνολική διακύμανση του πειράματος.

Από το διάγραμμα 11.3. δύναται να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η γεύση/άρωμα, το χρώμα της ψίχας και η μετάγευση των αρτοσκευασμάτων έχουν σημαντική θετική επίδραση ενώ τα ελαττώματα, η μασητικότητα και το κομμώδες των αρτοσκευασμάτων έχουν σημαντική αρνητική επίδραση στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Στη δεύτερη κύρια συνιστώσα δεν υπάρχει κάποιο οργανοληπτικό ή ποιοτικό χαρακτηριστικό που να έχει σημαντική επίδραση.

Στο διάγραμμα της εικόνας 11.4 απεικονίζονται οι θέσεις των δειγμάτων σε σχέση με τις δύο κύριες συνιστώσες.



Εικόνα 11.4. Γραφική απεικόνιση των δειγμάτων της 3<sup>ης</sup> σειράς πειραμάτων με ανάλυση κύριων συνιστωσών

Τα δείγματα 6 και 26 αναφέρονται σε φρέσκα δείγματα αρτοσκευασμάτων στα οποία για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας έχει χρησιμοποιηθεί μαλτοδεξτρίνη

– σκόνη ορού γάλακτος και μαλτοδεξτρίνη αντίστοιχα. Τα δείγματα αυτά, παρουσιάζουν το καλύτερο χρώμα ψίχας.

Τα δείγματα 7, 8, 16, 1 παρουσίασαν τις καλύτερες τιμές υφής. Τα δείγματα 7 και 8 αναφέρονται σε δείγματα αρτοσκευασμάτων στα οποία για τον εγκλεισμό της μαγιάς αρτοποιίας έχει χρησιμοποιηθεί μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος και τα ζυμάρια αυτών έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για 1 και 7 ημέρες αντίστοιχα.

Τα δείγματα 15, 20 παρουσίασαν μεγάλες τιμές κομμιώδους. Και τα δύο αυτά δείγματα αναφέρονται σε αρτοσκευάσματα που έχουν προκύψει από ζυμάρια που παρέμειναν υπό κατάψυξη για 30 ημέρες μόνο που στο δείγμα 15 η μαγιά έχει εγκλειστεί σε σκόνη ορού γάλακτος ενώ στο δείγμα 20 η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη – κυκλοδεξτρίνη.

## 12. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν ο εγκλεισμός μαγιάς αρτοποιίας, η χρήση της εγκλεισμένης μαγιάς σε αρτοσκευάσματα φρέσκα και κατεψυγμένου ζυμαριού αλλά και η προσθήκη τρεχαλόζης στον εγκλεισμό της μαγιάς και η χρήση της και πάλι σε αρτοσκευάσματα φρέσκα και κατεψυγμένου ζυμαριού. Η επιλογή των πρώτων υλών αλλά και των συνθηκών της πειραματικής διαδικασίας έγινε μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση και διενέργεια προκαταρκτικών πειραμάτων.

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση των διαφορετικών εγκλειστικών μέσων της μαγιάς αρτοποιίας και η εύρεση της κατάλληλης αναλογίας τους, ώστε τα αρτοσκευάσματα να διατηρούν τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των αντίστοιχων ζυμαριών υπό κατάψυξη. Αξίζει να σημειωθεί ότι στόχος της διπλωματικής εργασίας αυτής δεν ήταν η παρασκευή προϊόντων από κατεψυγμένο ζυμάρι με παρόμοια χαρακτηριστικά με εκείνα από φρέσκο αλλά η μελέτη των χαρακτηριστικών τους κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη και η βελτίωση αυτών με τροποποίηση της βασικής συνταγής ή των συνθηκών της πειραματικής διαδικασίας.

Κατά την αποθήκευση των δειγμάτων υπό κατάψυξη συμβαίνει υποβάθμιση των χαρακτηριστικών του ζυμαριού. Η υποβάθμιση αυτή οφείλεται κυρίως στο θερμικό σοκ που υφίστανται τα κύτταρα της μαγιάς και η γλουτένη κατά την ταπείνωση της θερμοκρασίας και όχι τόσο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης υπό κατάψυξη.

Για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης της κατάψυξης στα χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων και στην ποιότητα αυτών προτείνεται η χρήση κατάλληλων συστατικών, πρόσθετων και κρουοπροστατευτικών υλικών. Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη αρτοσκευασμάτων φρέσκων και κατεψυγμένου ζυμαριού με μαγιά η οποία είχε υποστεί εγκλεισμό σε μαλτοδεξτρίνη, κυκλοδεξτρίνη, σκόνη ορού γάλακτος και συνδυασμούς αυτών (μαλτοδεξτρίνη - κυκλοδεξτρίνη, μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος, σκόνη ορού γάλακτος - κυκλοδεξτρίνη). Ο εγκλεισμός είναι μία διαδικασία που παγιδεύει μία ουσία (ενεργό παράγοντα) σε ένα υλικό τοιχώματος άλλης ουσίας με σκοπό την κυτταρική επιβίωση.

Τα κατεψυγμένα δείγματα διατηρήθηκαν υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα ενός (1) μήνα και η δειγματοληψία γινόταν ανά συγκεκριμένα, τακτά χρονικά διαστήματα. Κατά την παρασκευή των δειγμάτων αυτών, επιλέχθηκε η ενσωμάτωση μικρότερης ποσότητας νερού, σε σχέση με τη συνήθη ποσότητα που χρησιμοποιείται για τα συμβατικά αρτοσκευάσματα, με σκοπό να μειωθεί το



ποσοστό του ελεύθερου νερού που είναι διαθέσιμο για το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου.

Οι αρχικές αναλύσεις που έγιναν αφορούσαν τα φρέσκα αρτοσκευάσματα με σκοπό να συγκριθούν εν συνεχεία με τα αρτοσκευάσματα που έχουν προκύψει από κατεψυγμένα ζυμάρια. Από τις αναλύσεις που έγιναν, προέκυψε ότι τα ίδια τα εγκλειστικά μέσα τροποποιούν τα χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο όγκος των αρτοσκευασμάτων στα οποία η μαγιά έχει εγκλειστεί σε μαλτοδεξτρίνη και σε σκόνη ορού γάλακτος – κυκλοδεξτρίνη έχει υποστεί μείωση σε σχέση με τον όγκο του «τυφλού» δείγματος. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε κακή απόδοση εγκλεισμού πράγμα που σημαίνει ότι τα κύτταρα της μαγιάς είτε καταστράφηκαν, είτε ενεργοποιήθηκαν πριν την κατάψυξη. Όπως απέδειξε και η ανάλυση διακύμανσης, η επίδραση του εγκλειστικού μέσου στον όγκο των αρτοσκευασμάτων είναι στατιστικά σημαντική. Γενικότερα, από τις αναλύσεις διακύμανσης που εφαρμόστηκαν για όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά (χρώμα κόρας και ψίχας, σκληρότητα, ολική αρέσκεια, κλπ.) φαίνεται ότι η πλειονότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών επηρεάζεται σημαντικά από τα εγκλειστικά μέσα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μαγιά αρτοποιίας.

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η συμπεριφορά των αρτοσκευασμάτων κατά την αποθήκευση των αντίστοιχων ζυμαριών υπό κατάψυξη. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η χρήση του εγκλεισμού της μαγιάς είχε ως αποτέλεσμα να διατηρείται σε πολύ καλά επίπεδα ο όγκος των δειγμάτων των αρτοσκευασμάτων. Συγκεκριμένα, η χρήση του συνδυασμού μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος για τον εγκλεισμό της μαγιάς ενίσχυσε τον όγκο των αρτοσκευασμάτων ακόμα και μετά από 30 ημέρες αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη. Η πλειονότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται τόσο από το χρόνο αποθήκευσης των ζυμαριών υπό κατάψυξη όσο και από το είδος του εγκλειστικού μέσου της μαγιάς. Επίσης, τα δείγματα έχουν ενδιάμεσα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, παρότι δεν είναι εφάμιλλα αυτών των «τυφλών» δειγμάτων, παραμένουν αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Τα καλύτερα χαρακτηριστικά τα εμφανίζουν τα δείγματα στα οποία ο εγκλεισμός της μαγιάς έχει γίνει σε μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος. Αντίθετα, τα δείγματα με μαλτοδεξτρίνη-κυκλοδεξτρίνη εμφάνισαν αυξημένη σκληρότητα. Δεν έδωσαν όλα τα εγκλειστικά μέσα τα ίδια αποτελέσματα πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι όλα το ίδιο ικανά να εγκλείσουν τη μαγιά αρτοποιίας. Μέσω των έμμεσων μετρήσεων για την απόδοση του εγκλεισμού που έγιναν στο ζυμάρι και στα αρτοσκευάσματα, διαπιστώθηκε ότι τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων είναι καλύτερα ύστερα από αποθήκευση υπό κατάψυξη όταν για τον εγκλεισμό έχει χρησιμοποιηθεί μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση της ενσωμάτωσης τρεχαλόζης στη διαδικασία του εγκλεισμού των κυττάρων μαγιάς, μίας ουσίας με κρουπροστατευτικές ιδιότητες για τα κύτταρα της μαγιάς. Η χρήση τρεχαλόζης βελτίωσε τον όγκο των αρτοσκευασμάτων και έδωσε δείγματα με σταθερότερη συμπεριφορά κατά την αποθήκευση. Από τη συνολική εξέταση των αποτελεσμάτων, η προσθήκη τρεχαλόζης βελτίωσε μεν τα χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Το εγκλειστικό μέσο που έδωσε συνολικά τα καλύτερα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στα αρτοσκευάσματα κατεψυγμένου ζυμαριού ήταν ο συνδυασμός μαλτοδεξτρίνη – σκόνη ορού γάλακτος.

Συνολικά από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της συγγραφής της, φαίνεται ότι η ενσωμάτωση της διαδικασίας του εγκλεισμού της μαγιάς αρτοποιίας στην παραγωγή αρτοσκευασμάτων αποτελεί μία ιδιαίτερα αξιόλογη επιλογή. Σε συνδυασμό δε, με την ενσωμάτωση τρεχαλόζης στη διαδικασία του εγκλεισμού των κυττάρων μαγιάς φαίνεται ότι τα κατεψυγμένα ζυμάρια έδωσαν αρτοσκευάσματα με βελτιωμένα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Το κατεψυγμένο ζυμάρι μπορεί να ξεπεράσει τα προβλήματα του παραδοσιακού ψωμιού, όπως η αποκατάσταση του αμύλου και η βραχεία διάρκεια ζωής του. Ωστόσο, στην παραγωγή κατεψυγμένου ζυμαριού, η μείωση της δραστηριότητας ζύμης και η καταστροφή της δομής του δικτύου του ζυμαριού είναι αναπόφευκτες, με αποτέλεσμα την πτώση της ποιότητας ψησίματος του ζυμαριού.

Ο εγκλεισμός έχει αποδειχθεί ότι είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για τη διατήρηση της βιωσιμότητας και της σταθερότητας των κυττάρων ζύμης, καθώς τα προστατεύει κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης τροφίμων.

Ο εγκλεισμός, που είναι μία αποτελεσματική μέθοδος συντήρησης για την κάλυψη μίας βιοδραστικής ένωσης με ένα προστατευτικό κέλυφος, προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Η τεχνολογία ενθυλάκωσης/εγκλεισμού έχει διερευνηθεί από πολλές εταιρείες ως ένας τρόπος ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των κυττάρων της μαγιάς αρτοποιίας. Ωστόσο, έχει να αντιμετωπίσει πολλές προκλήσεις για την εφαρμογή της σε βιομηχανική κλίμακα. Από τη μία πλευρά, πρέπει να ενισχυθούν οι τεχνολογικές προκλήσεις για την απόκτηση υλικών/φορέων με τις καλύτερες ιδιότητες. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά των καταναλωτών έναντι νέων τροφίμων. Ο εγκλεισμός μπορεί να επιτύχει μία ευρεία ποικιλία λειτουργιών σύμφωνα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και σήμερα, τα ενθυλακωμένα κύτταρα μπορούν να ενσωματωθούν σε πολλούς τύπους προϊόντων διατροφής.

Άλλοι άξονες στους οποίους θα ήταν σκόπιμο να στραφεί η έρευνα είναι η περαιτέρω μελέτη της διαδικασίας του εγκλεισμού της μαγιάς αρτοποιίας με διαφορετικούς φορείς εγκλεισμού οι οποίοι πιθανόν να δίνουν μεγαλύτερη απόδοση εγκλεισμού. Ένα υλικό/φορέας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό είναι το αραβικό κόμμι.

Η χρήση προσθέτων είναι μία μέθοδος για την αύξηση της ανοχής κατάψυξης του ζυμαριού και τη βελτίωση των ρεολογικών και θερμοφυσικών ιδιοτήτων του ζυμαριού, έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν τελικά προϊόντα που να προσεγγίζουν σε φρέσκο ψωμί. Με προσθήκη τρεχαλόζης, η ανοχή κατάψυξης και η ικανότητα ζύμωσης της ζύμης θα μπορούσαν να ενισχυθούν. Επίσης, προτείνεται ο συνδυασμός διάφορων πρόσθετων συστατικών, κυρίως με διαφορετική δράση, πχ κρουπροστατευτικά υλικά που ενισχύουν τη δραστηριότητα των κυττάρων της μαγιάς, με γαλακτωματοποιητές που ενισχύουν την αντοχή του ζυμαριού, καθώς και η προσθήκη συστατικών που βελτιώνουν τη διατροφική αξία των παραγόμενων αρτοποιημάτων.

Ακόμα, η βελτιστοποίηση του ρυθμού κατάψυξης και η αποφυγή διακυμάνσεων της θερμοκρασίας θα μπορούσε να διατηρήσει τη δραστηριότητα της ζύμης και να αποτρέψει την ανακρυστάλλωση της υγρασίας σε κατεψυγμένα ζυμάρια. Επιπλέον, οι νέες τεχνολογίες κατάψυξης μπορούν να επιταχύνουν τη διαδικασία κατάψυξης και να βελτιώσουν τη μεταφορά θερμότητας. Για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας προτείνεται η απόψυξη/διόγκωση του κατεψυγμένου ζυμαριού στους 25°C έναντι της θερμοκρασίας των 38°C που εφαρμόζεται κυρίως για τη διόγκωση των παραδοσιακών αρτοποιημάτων.

Τέλος, δεδομένου ότι τα αρτοποιήματα από κατεψυγμένο ζυμάρια παρουσιάζουν μειωμένο χρόνο ζωής, προτείνεται η αναζήτηση πρόσθετων που μπορούν να επιμηκύνουν τη διατηρησιμότητά τους.

### 13. Βιβλιογραφία

- ADM Cocoa., Cocoa powders in bakery applications,pp. 1–48, 1998
- Ahi M. , Hatamipour M.S. & Goodarzi A., Optimization of Leavening Activity of Baker's Yeast During the Spray-Drying Process, December 2015
- Anon Maria Cristina, Le Bail A. , Alberto Edel Leon, Handbook of frozen foods, chapter 31, Effect of Freezing on Dough Ingredients
- Atmane Madene Muriel, Jacquot Joël Scher, Flavour encapsulation and controlled release -a review, December 2005
- Baravalle Rodrigo , Gustavo Ariel Patowb, Claudio Delrieux, Procedural bread making, May 2015
- Bram Pareyt, Sean M. Finnie, Joke A. Putseys, Jan A. Delcour Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality, August 2011
- Caputo L., Visconti A., De Angelis M. Selection and use of a *Saccharomyces cerevisiae* strain to reduce phytate content of wholemeal flour during bread-making or under simulated gastrointestinal conditions, March 2015
- Cauvain S., Campden and Chorleywood Food Research Association,UK, bread making improving quality, chapter 02 <Breadmaking: an overview>,2003
- Cauvain S.P. and Young L.S. , Campden and Chorleywood Food and Research Association, UK, bread making improving quality, chapter 21, Water control in baking, 2003
- Cauvain S.P. and Young L.S., Baking problems solved, Other bakery ingredients, chapter 5, April 2001
- Cauvain S.P. in *Technology of Breadmaking*, Baking problem solved, chapter 6, April 2001
- Cauvain S.P., Campden and Chorley wood, Food Research Association, Chipping Campden, cereals processing technology, chapter 10, Breadmaking, 2003
- Chandralekha A., Hrishikesh Tavanandi A., Amrutha N., Umesh Hebbar H., K. S. M. S. Raghavarao & Ramachandra Gadre <Encapsulation of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) by spray drying for extension of shelf life>, june 2016
- Cornell H., bread making improving quality, chapter 03, The chemistry and biochemistry of wheat, 2003
- Coutinho C., Bernardes E., Durvalina Félix Anita, Panek D., Trehalose as cryoprotectant for preservation of yeast strains, September 1987
- Elbein Alan D., Pan Y.T. , Irena Pastuszak, and David Carroll, New insights on trehalose: a multifunctional molecule, January 2003
- Facco Stefanelloa Raquel, Amanda Aimée Rosito Machadob, Carlos Pasqualin Cavalheiroa,c, Marlise Ladvoat Bartholomei Santosd, Elizabeth Harumi Nabeshimae, Marina Venturini Copettia, Leadir Lucy Martins Friesa, Trehalose as a cryoprotectant in freeze-dried wheat sourdough production, November 2017
- Giannou, V., Tzia, K., Le Bail A. , Quality and Safety of Frozen Bakery Products (Ch.22), Handbook of Frozen food Processing and Packaging, 2005
- Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C.M. , Gebruers K. and Delcour J.A. , Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality, 2004

Hajsjelova M. , Alldrick A. J., Campden and Chorleywood, Food Research Association, UK, Analysing wheat and flour, 2003

Janssen Frederik, Woutersa Arno G.B. , Bram Pareyta, Lien R. Geritsa,d, Jan A. Delcoura, Etienne Waelkensb, Rita Deruab, Wheat (Triticum aestivum L.) lipid species distribution in the different stages of straight dough bread making, June 2018

Kraklow K.H., Kandler R.C., Frozen microwaveable bakery products., pp.61, 2003

Lynn A., Scottish Agricultural College, Auchincruive, cereal biotechnology, chapter 8, Current practice in milling and baking, 2000

Ma Cabral Marques Helena, A review on cyclodextrin encapsulation of essential oils and volatiles, September 2010

MacRitchie F., Seventy years of research into breadmaking quality, May 2016

Maloney Daniel H. and Foy James J., Handbook of Dough Fermentations, Ch.3, Yeast Fermentations,2003

Matz, S.A., Technology of the materials of baking, Elsevier science publishers LTD, USA, 1989

Matz, S.A., The chemistry and technology of cereals as food and feed (2nd ed). Van Nostrand Reinhold; McAllen, TX, USA: Pan-Tech International [distributor], New York, 1981

Mohamed H. Abd El-Salam, Preparation and properties of milk proteins-based encapsulated probiotics: a review, April 2015

Mohammad N. Rezaei, Emmie Dornez, Pieter Jacobs, Anali Parsi, Kevin J. Verstrepen, Christophe M. Courtin, Harvesting yeast (Saccharomyces cerevisiae) at different physiological phases significantly affects its functionality in bread dough fermentation, December 2013

Owens W. G., Satake Centre for Grain Process Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology, cereals processing technology, chapter 3, Wheat, corn and coarse grains milling, 2001

Schiraldi A. and Fessas D., Bread Making Improving Quality, ch.15, The role of water in dough formation and bread quality, 2003

Sohini Ray, Utpal Raychaudhuri, Runu Chakraborty, An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology, April 2010

Webb C. and Owens G. W., Bread making improving quality, chapter 10, Milling and flour quality, 2001

Wenhuang Luo, Da-Wen Suna, Zhiwei Zhua, Qi-Jun Wang, Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods, December 2017

Zhongxiang Fanga and Bhesh Bhandari, Encapsulation of polyphenol-a review,2010

Λεμπέση, Δ. Δράση ενζύμων και διαιτητικών ινών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αρτοποιημάτων // Διδακτορική διατριβή. - Αθήνα : Ε.Μ.Π, 2012

Τσιάρας, Ν. Ποιοτικός έλεγχος Φ/Π Ι. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, Ελλάδα,1984

## 14. Παράρτημα

### 14.1. Σειρά 1<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης των διαφορετικών εγκλειστικών μέσων στα φρέσκα δείγματα άρτου

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛ.ΖΥΜ.ΠΡΙΝ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	19,28826	1	19,28826	4565,389	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	3,19223	5	0,63845	151,115	0,000000	
Error	0,05070	12	0,00422			

Εικόνα 14.1. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ζυμαριού πριν τη διόγκωση

Univariate Tests of Significance for ΟΓΚΟΣ (Spreadsheet1_(Recovered))						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	250868,1	1	250868,1	180625,0	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	340,3	5	68,1	49,0	0,000000	
Error	16,7	12	1,4			

Εικόνα 14.2. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στον όγκο των φρέσκων αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΚΟΠΗ ΚΟΡΑΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	3506,185	1	3506,185	1814,551	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	189,367	5	37,873	19,601	0,001179	
Error	11,594	6	1,932			

Εικόνα 14.3. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΚΟΠΗ ΨΙΧΑΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	2930,406	1	2930,406	1346,532	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	135,393	5	27,079	12,443	0,004032	
Error	13,058	6	2,176			

Εικόνα 14.4. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας κατά την κοπή των φρέσκων αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΨΙΧΑΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	842,9275	1	842,9275	802,1988	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	54,0598	5	10,8120	10,2895	0,006617	
Error	6,3046	6	1,0508			

Εικόνα 14.5. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας κατά την συμπίεση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων με εγκλεισμένη μαγιά

Πίνακας 14.1. ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη συνεκτικότητα του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,034564	5	0,006913	1,844964	0,238509	4,387374
Within Groups	0,022481	6	0,003747			
Total	0,057045	11				

Πίνακας 14.2. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στο κομμώδες του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	64,78304	5	12,95661	7,102183	0,01669	4,387374
Within Groups	10,94588	6	1,824314			
Total	75,72893	11				

Πίνακας 14.3. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στην ελαστικότητα του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	8,090175	5	1,618035	114,3488	7,26E-06	4,387374
Within Groups	0,0849	6	0,01415			
Total	8,175075	11				

Πίνακας 14.4. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη μσητικότητα του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Between Groups</b>	774,4153	5	154,8831	9,574809	0,007955	4,387374
<b>Within Groups</b>	97,0566	6	16,1761			
<b>Total</b>	871,4719	11				

Πίνακας 14.5. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη γεύση του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Between Groups</b>	10,45833	5	2,091667	4,780952	0,005909	2,772853
<b>Within Groups</b>	7,875	18	0,4375			
<b>Total</b>	18,33333	23				

Πίνακας 14.6. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στην υφή στο στόμα του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Between Groups</b>	6,208333	5	1,241667	1,515254	0,23445	2,772853
<b>Within Groups</b>	14,75	18	0,819444			
<b>Total</b>	20,95833	23				

Πίνακας 14.7. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη μετάγευση του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Between Groups</b>	12,70833	5	2,541667	3,210526	0,03026	2,772853
<b>Within Groups</b>	14,25	18	0,791667			
<b>Total</b>	26,95833	23				



Πίνακας 14.8. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στα ελαττώματα του φρέσκου αρτοσκευάσματος με εγκλεισμένη μαγιά

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,70833	5	2,341667	4,556757	0,007347	2,772853
Within Groups	9,25	18	0,513889			
Total	20,95833	23				

14.2. Σειρά 2<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου κατάψυξης

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΖΥΜΑΡΙΟΥ (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	18,00314	1	18,00314	381,2547	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	0,34570	4	0,08642	1,8302	0,162611	
ΔΕΙΓΜΑ	1,73378	5	0,34676	7,3433	0,000473	
Error	0,94442	20	0,04722			

Εικόνα 14.6. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ζυμαριού του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΟΡΑΣ (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	11306,54	1	11306,54	1631,474	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	200,37	4	50,09	7,228	0,000903	
ΔΕΙΓΜΑ	223,21	5	44,64	6,442	0,001017	
Error	138,61	20	6,93			

Εικόνα 14.7. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα κόρας του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ (Spreadsheet1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	6645,557	1	6645,557	2749,766	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	128,870	4	32,217	13,331	0,000019	
ΔΕΙΓΜΑ	373,939	5	74,788	30,945	0,000000	
Error	48,335	20	2,417			

Εικόνα 14.8. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1812,384	1	1812,384	1580,812	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	51,882	4	12,970	11,313	0,000058	
ΔΕΙΓΜΑ	71,782	5	14,356	12,522	0,000014	
Error	22,930	20	1,146			

Εικόνα 14.9. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας κατά τη συμπίεση του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Πίνακας 14.9. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη συνεκτικότητα του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

#### ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0,087501	4	0,021875	1,969764	0,138128	2,866081
Columns	0,27672	5	0,055344	4,983464	0,003996	2,71089
Error	0,222111	20	0,011106			
Total	0,586332	29				

Πίνακας 14.10. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στο κομμώδες του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

#### ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	112,4281	4	28,10702	13,73555	1,53E-05	2,866081
Columns	93,61617	5	18,72323	9,14981	0,000118	2,71089
Error	40,92595	20	2,046298			
Total	246,9702	29				

Πίνακας 14.11. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στην ελαστικότητα του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

#### ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0,910861	4	0,227715	0,413167	0,797082	2,866081
Columns	3,101498	5	0,6203	1,125471	0,378923	2,71089
Error	11,02293	20	0,551146			
Total	15,03529	29				

Πίνακας 14.12. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη μασητικότητα του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	1775,033	4	443,7583	7,17112	0,000943	2,866081
Columns	1949,924	5	389,9848	6,302142	0,001151	2,71089
Error	1237,626	20	61,88131			
<b>Total</b>	<b>4962,583</b>	<b>29</b>				

Univariate Tests of Significance for ΟΓΚΟΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	340267,5	1	340267,5	22312,62	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	1995,0	4	498,7	32,70	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	1007,5	5	201,5	13,21	0,000009	
Error	305,0	20	15,3			

Εικόνα 14.10. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στον όγκο των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΧΡΩΜΑ ΚΟΡΑΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	218022,8	1	218022,8	27019,58	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	1209,2	4	302,3	37,46	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	27,3	5	5,5	0,68	0,646114	
Error	161,4	20	8,1			

Εικόνα 14.11. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στο χρώμα κόρας των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Univariate Tests of Significance for ΧΡΩΜΑ ΨΙΧΑΣ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	104258,6	1	104258,6	6827,296	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	919,8	4	229,9	15,058	0,000008	
ΔΕΙΓΜΑ	289,6	5	57,9	3,793	0,014064	
Error	305,4	20	15,3			

Εικόνα 14.12. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στο χρώμα ψίχας των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

Πίνακας 14.13. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη γεύση του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	4,583333	4	1,145833	23,40426	2,64E-07	2,866081
<b>Columns</b>	13,26042	5	2,652083	54,17021	6,09E-11	2,71089
<b>Error</b>	0,979167	20	0,048958			
<b>Total</b>	18,82292	29				

Πίνακας 14.14. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στην υφή στο στόμα του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	2,279167	4	0,569792	7,030848	0,001052	2,866081
<b>Columns</b>	8,61875	5	1,72375	21,26992	2,22E-07	2,71089
<b>Error</b>	1,620833	20	0,081042			
<b>Total</b>	12,51875	29				

Πίνακας 14.15. Ανάλυση επιδρασης παραγόντων στη μετάγευση του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	1,445833	4	0,361458	3,607069	0,022719	2,866081
<b>Columns</b>	14,86042	5	2,972083	29,65904	1,34E-08	2,71089
<b>Error</b>	2,004167	20	0,100208			
<b>Total</b>	18,31042	29				

Πίνακας 14.16. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στα ελαττώματα του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	24,80417	4	6,201042	16,99886	3,21E-06	2,866081
Columns	15,35	5	3,07	8,415762	0,000203	2,71089
Error	7,295833	20	0,364792			
<b>Total</b>	<b>47,45</b>	<b>29</b>				

Univariate Tests of Significance for ΟΛΙΚΗ ΑΡΕΣΚΕΙΑ (Spreadsheet1)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1702,533	1	1702,533	12533,99	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	7,883	4	1,971	14,51	0,000010	
ΔΕΙΓΜΑ	24,867	5	4,973	36,61	0,000000	
Error	2,717	20	0,136			

Εικόνα 14.13. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στην ολική αρέσκεια του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά

14.3. Σειρά 3<sup>η</sup>: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου κατάψυξης με τη χρήση τρεχαλόζης ως κρυσταλλοστατευτικό της μαγιάς

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΖΥΜΑΡΙΟΥ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).s						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	13,90627	1	13,90627	4683,998	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	0,34223	4	0,08556	28,818	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	0,99971	5	0,19994	67,346	0,000000	
Error	0,05938	20	0,00297			

Εικόνα 14.14. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ζυμαριού του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΟΡΑΣ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11615,36	1	11615,36	1961,409	0,000000
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	143,85	4	35,96	6,073	0,002285
ΔΕΙΓΜΑ	219,47	5	43,89	7,412	0,000447
Error	118,44	20	5,92		

Εικόνα 14.15. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα κόρας του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6302,704	1	6302,704	2406,054	0,000000
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	109,245	4	27,311	10,426	0,000099
ΔΕΙΓΜΑ	347,150	5	69,430	26,505	0,000000
Error	52,390	20	2,620		

Εικόνα 14.16. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας κατά την κοπή του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Univariate Tests of Significance for ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΨΙΧΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1567,688	1	1567,688	1816,820	0,000000
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	47,538	4	11,884	13,773	0,000015
ΔΕΙΓΜΑ	42,468	5	8,494	9,843	0,000073
Error	17,257	20	0,863		

Εικόνα 14.17. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη σκληρότητα ψίχας κατά τη συμπίεση του αρτοσκευάσματος από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Univariate Tests of Significance for ΟΓΚΟΣ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	360803,3	1	360803,3	23153,16	0,000000
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	1638,3	4	409,6	26,28	0,000000
ΔΕΙΓΜΑ	346,7	5	69,3	4,45	0,006909
Error	311,7	20	15,6		

Εικόνα 14.18. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στον όγκο των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Πίνακας 14.17. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη συνεκτικότητα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	0,295752	4	0,073938	9,221601	0,000216	2,866081
<b>Columns</b>	0,504883	5	0,100977	12,59388	1,3E-05	2,71089
<b>Error</b>	0,160358	20	0,008018			
<b>Total</b>	0,960993	29				

Πίνακας 14.18. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στο κομμώδες των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	146,7901	4	36,69751	26,57497	9,34E-08	2,866081
<b>Columns</b>	128,8698	5	25,77395	18,66453	6,4E-07	2,71089
<b>Error</b>	27,61811	20	1,380905			
<b>Total</b>	303,2779	29				

Πίνακας 14.19. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στην ελαστικότητα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	1,12697	4	0,281743	0,509506	0,72938	2,866081
<b>Columns</b>	4,522897	5	0,904579	1,635851	0,196373	2,71089
<b>Error</b>	11,05944	20	0,552972			
<b>Total</b>	16,70931	29				

Πίνακας 14.20. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη μασητικότητα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	2303,873	4	575,9683	10,1911	0,000115	2,866081
Columns	2623,536	5	524,7072	9,284093	0,000108	2,71089
Error	1130,336	20	56,5168			
<b>Total</b>	<b>6057,745</b>	<b>29</b>				

Univariate Tests of Significance for ΧΡΩΜΑ ΚΟΡΑΣ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	198716,6	1	198716,6	29661,56	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	529,2	4	132,3	19,75	0,000001	
ΔΕΙΓΜΑ	262,9	5	52,6	7,85	0,000315	
Error	134,0	20	6,7			

Εικόνα 14.19. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στο χρώμα κόρας των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Univariate Tests of Significance for ΧΡΩΜΑ ΨΙΧΑΣ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	87851,79	1	87851,79	5863,074	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	221,27	4	55,32	3,692	0,020824	
ΔΕΙΓΜΑ	1018,67	5	203,73	13,597	0,000007	
Error	299,68	20	14,98			

Εικόνα 14.20. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στο χρώμα ψίχας των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Πίνακας 14.21. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη γεύση των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6,614583	4	1,653646	25	1,54E-07	2,866081
Columns	13,0026	5	2,600521	39,31496	1,12E-09	2,71089
Error	1,322917	20	0,066146			
<b>Total</b>	<b>20,9401</b>	<b>29</b>				



Πίνακας 14.22. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στην υφή στο στόμα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	4,70625	4	1,176563	15,62241	6,02E-06	2,866081
<b>Columns</b>	4,902604	5	0,980521	13,01936	1,02E-05	2,71089
<b>Error</b>	1,50625	20	0,075312			
<b>Total</b>	11,1151	29				

Πίνακας 14.23. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στη μετάγευση των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	5,729167	4	1,432292	16,17647	4,65E-06	2,866081
<b>Columns</b>	18,79167	5	3,758333	42,44706	5,63E-10	2,71089
<b>Error</b>	1,770833	20	0,088542			
<b>Total</b>	26,29167	29				

Πίνακας 14.24. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στα ελαττώματα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

**ANOVA**

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<b>Rows</b>	11,02083	4	2,755208	16,06926	4,89E-06	2,866081
<b>Columns</b>	5,091667	5	1,018333	5,939247	0,001598	2,71089
<b>Error</b>	3,429167	20	0,171458			
<b>Total</b>	19,54167	29				

Univariate Tests of Significance for ΟΛΙΚΗ ΑΡΕΣΚΕΙΑ (ΚΑΤΑΨΥΞΗ(TREXALOZH).sta)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1710,075	1	1710,075	21600,95	0,000000	
ΗΜΕΡΑ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ	9,717	4	2,429	30,68	0,000000	
ΔΕΙΓΜΑ	15,875	5	3,175	40,11	0,000000	
Error	1,583	20	0,079			

Εικόνα 14.21. Ανάλυση επίδρασης παραγόντων στην ολική αρέσκεια των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι με εγκλεισμένη μαγιά και τρεχαλόζη

Πίνακας 14.25. Κωδικοποίηση ανάλυσης PCA

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΗΜΕΡΕΣ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ
1	ΤΥΦΛΟ	0
2	ΤΥΦΛΟ	1
3	ΤΥΦΛΟ	7
4	ΤΥΦΛΟ	15
5	ΤΥΦΛΟ	30
6	MD-WHEY	0
7	MD-WHEY	1
8	MD-WHEY	7
9	MD-WHEY	15
10	MD-WHEY	30
11	WHEY	0
12	WHEY	1
13	WHEY	7
14	WHEY	15
15	WHEY	30
16	MD-CYCL	0
17	MD-CYCL	1
18	MD-CYCL	7
19	MD-CYCL	15
20	MD-CYCL	30
21	WHEY-CYCL	0
22	WHEY-CYCL	1
23	WHEY-CYCL	7
24	WHEY-CYCL	15
25	WHEY-CYCL	30
26	MD	0
27	MD	1
28	MD	7
29	MD	15
30	MD	30