



Σχολή Επιστημών Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
**ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“Βελτιστοποίηση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης για την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων φυτικής προέλευσης, με εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM (Response Surface Methodology)”**

MSc Thesis

**Optimization of the osmotic dehydration process using RSM  
(Response Surface Methodology) for the production of dried foods of  
plant origin**

Διευθυντής

Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (ΠΑ.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

**Βασίλειος – Άγγελος Παυλίδης**

**Vasilios – Aggelos Pavlidis**

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

**Μαρία Γιαννακούρου**

**Maria C. Giannakourou**

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021



Faculty of Food Sciences  
Department of Food Science and Technology

Master of Science  
**FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY**

MSc THESIS

**Optimization of the osmotic dehydration process using RSM  
(Response Surface Methodology) for the production of dried  
foods of plant origin**

Vasilios-Aggelos Pavlidis

19020

vazilhs@hotmail.com

SUPERVISOR  
MARIA C.GIANNAKOUROU

AIGALEO 2021

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΑΚΝΗΣ

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **‘Βελτιστοποίηση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης για την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων φυτικής προέλευσης, με εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM (Response Surface Methodology)’** που παρουσιάστηκε από τον ΒΑΣΙΛΗ-ΑΓΓΕΛΟ ΠΑΥΛΙΔΗ, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Όνομα επιβλέποντος  
ΜΑΡΙΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής  
ΕΙΡΗΝΗ ΣΤΡΑΤΗ

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής  
ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΚΟΝΤΕΛΕΣ

## **Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright**

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Βασίλειος-Άγγελος Παυλίδης

## Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κυρία Γιαννακούρου Μαρία για την ανάθεση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας και για την καθοδήγηση και τη βοήθεια της στη διεξαγωγή των πειραμάτων, την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την συγγραφή της εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα Σταυροπούλου Ναταλία για τη βοήθεια της και για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

## Αφιέρωσεις

Θέλω να αφιερώσω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου.

## Περίληψη

Τα λευκά μανιτάρια (*Agaricus bisporus*) είναι τα πιο κοινά είδη βρώσιμων μανιταριών, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης μανιταριών. Τα μανιτάρια είναι μια καλή πηγή συμπλέγματος βιταμίνης Β, εργοστερολών και μετάλλων όπως το σελήνιο. Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, είναι πλούσια σε πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και θεωρούνται τροφές χωρίς χοληστερόλη.

Ωστόσο, τα μανιτάρια είναι ιδιαίτερα ευπαθή, με περιορισμένη διάρκεια, περίπου 1-3 ημέρες υπό αποθήκευση σε συνθήκες περιβάλλοντος και 5-8 ημέρες σε συνθήκες ψύξης. Η γρήγορη αλλοίωσή τους προκαλείται κυρίως από την υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, βιολογικές διαδικασίες, ενζυμική δραστηριότητα, χαμηλό pH και διάφορες μικροβιακές αλλοιώσεις. Η σύντομη διάρκεια ζωής των μανιταριών είναι ένα μειονέκτημα που περιορίζει την οικονομική και εμπορική τους αξία. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει προταθεί ως ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη διατήρηση των μανιταριών και την παραγωγή τελικών προϊόντων ανώτερης ποιότητας.

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια, μη θερμική επεξεργασία, που χρησιμοποιείται κυρίως ως στάδιο προεπεξεργασίας συμβατικών μεθόδων συντήρησης (όπως ξήρανση ή κατάψυξη), και περιλαμβάνει την εμβάπτιση ενός τροφίμου σε ένα υπερτονικό διάλυμα (υδατανθράκων, αλάτων και άλλων συστατικά).

Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ως στατιστικό εργαλείο η μεθοδολογία απόκρισης επιφανείας (Response Surface Methodology, RSM) για τη διερεύνηση της επίδρασης της συγκέντρωσης του επιλεγμένου ωσμωτικού παράγοντα, εδώ της γλυκερόλης (30-50%), της θερμοκρασίας (30-50 °C) και της διάρκειας της ώσμωσης (20-180 λεπτά), για την εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων της ωσμωτικής διαδικασίας για την επεξεργασία των μανιταριών. Τα πειράματα διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας τον πειραματικό σχεδιασμό Box Behnken με τρεις παράγοντες σε τρία επίπεδα, και οι δείκτες που μετρήθηκαν περιλαμβάνουν παραμέτρους που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας, φυσικοχημικούς και άλλους επιλεγμένους δείκτες ποιότητας. Για κάθε απόκριση, αναπτύχθηκε ένα πολυώνυμο μοντέλο δεύτερης τάξης, και η κατάλληλη στατιστική ανάλυση έδειξε ότι όλοι οι παράγοντες διεργασίας επηρέασαν σημαντικά την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές χρώματος. Με βάση την προσέγγιση των συναρτήσεων αποδεκτότητας (Desirability Functions) και συγκεκριμένα προκαθορισμένα

κριτήρια-στόχους της διεργασίας, εκτιμήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας και πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς τα αντίστοιχα, ανεξάρτητα πειράματα επαλήθευσης.



## Abstract

Button mushrooms (*Agaricus bisporus*) are the most common edible mushroom species, which account for 30% of the global mushroom consumption. Mushrooms are a good source of vitamin B complex, ergo-sterols and minerals such as selenium. Additionally, they are containing a wide range of therapeutic compounds such as triterpenoids, glycoproteins, natural antibiotics, enzymes, and enzyme inhibitors that strengthen the human health system. They are low in fat, rich in protein of high biological value and are considered as cholesterol-free foods.

Nevertheless, mushrooms are sensitive to corporal and contagious damages because of the absence of a protective skin layer. Therefore, shelf-life of button mushrooms is limited, approximately 1–3 days under ambient storage and 5–8 days at chill conditions. The fast degradation is mainly caused by the high water content, biological procedures, enzyme activity, low pH and microbial spoilage; furthermore, mushroom flesh is influenced by the level of ripeness and any harm to the pile. Mushroom short shelf-life is a disadvantage that limits its economic and commercial value. Osmotic dehydration has been proposed as an efficient way to preserve mushrooms and produce final products of superior quality.

Osmotic dehydration is a mild, non-thermal treatment, mainly used as a pre-processing step of conventional preservation methods (such as drying or freezing), that involves the immersion of a food material in a hypertonic solution (of carbohydrates, salts and other ingredients).

In this study, Response Surface Methodology was used to investigate the effect of glycerol concentration (30-50%), temperature (30-50°C), and duration of osmosis (20-180 min), to obtain the optimal osmotic process parameters for mushroom treatment. Experiments were conducted using a Box Behnken Design with three factors at three levels, and the indices measured included mass transfer, physicochemical and selected quality indices. For each response, a second order polynomial model was developed, and appropriate statistical analysis showed that all process factors significantly affected water loss, solid gain,  $a_w$  and color changes. Based on the desirability approach and particular pre-set criteria, optimum operating conditions were estimated, and the corresponding validation experiments were successfully performed.

## Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright .....	3
Ευχαριστίες.....	4
Αφιέρώσεις .....	5
Περίληψη.....	9
Abstract .....	1
Περιεχόμενα .....	2
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	5
Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια .....	8
2.1 Γενικά.....	8
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	9
2.3 Μύκητες.....	12
2.4 Πολλαπλασιασμός - Αναπαραγωγή Μυκήτων.....	16
2.5 Μορφολογία - Ανατομία Καρποσωμάτων Μυκητών .....	17
2.6 Κύκλος Ζωής Μανιταριών .....	18
2.7 Συστατικά.....	20
2.8 Το λευκό μανιτάρι.....	24
2.9 Πληροφορίες για την καλλιέργεια μανιταριών .....	26
2.9.1 Περιβάλλον και προϋποθέσεις καλλιέργειας του μανιταριού.....	26
2.9.2 Υποστρώματα-κομπόστες για την καλλιέργεια των μανιταριών.....	27
2.10 Βασικά αίτια αλλοίωσης του λευκού μανιταριού .....	27
2.11 Κύριοι τρόποι συντήρησης (και επέκτασης χρόνου ζωής) των μανιταριών.....	28
Κεφάλαιο 3. Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	32
3.1. Εισαγωγή.....	32
3.2 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	33
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση.....	35
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης .....	40
3.5. Εφαρμογές της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία και διαθέσιμα προϊόντα ...	44
3.6. Εφαρμογές της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας άλλων μεθόδων επεξεργασίας. ....	44
3.7. Νέες τάσεις στην ωσμωτική αφυδάτωση .....	46
3.8 Ωσμωτική αφυδάτωση σε λευκό μανιτάρι.....	47
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology - RSM) .....	522
4.1 Εισαγωγή.....	522
4.2. Μεθοδολογία.....	54
4.3 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken.....	55

4.4	Συναρτήσεις επιθυμίας για την εύρεση βέλτιστων συνθηκών (desirability functions)	57
4.5	Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση της μεθοδολογίας RSM	57
	Κεφάλαιο 5: Υλικά & Μέθοδοι	62
5.1	Ωσμωτική αφυδάτωση	62
5.1.1	Γλυκερόλη	63
5.2	Πειραματική διαδικασία	64
5.3	Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης	64
5.3.1	Προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος (water activity, aw)	64
5.3.2	Μέτρηση ολικών στερεών	655
5.3.3	Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών (°Brix)	66
5.3.4	Προσδιορισμός χρώματος (χρωματόμετρο)	67
5.3.5	Ανάλυση υφής	69
5.3.6	Μέθοδος προσδιορισμού αλατότητας (μέθοδος Mohr)	71
5.4	Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM)	71
	Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα & Συζήτηση	77
6.1	Κινητική μελέτης ωσμωτικής αφυδάτωσης λευκού μανιταριού	77
6.1.1	Ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων λευκού μανιταριού	77
6.1.2	Απώλεια νερού των δειγμάτων λευκού μανιταριού	79
6.1.3	Πρόσληψη στερεών των δειγμάτων λευκού μανιταριού	81
6.1.4	Υγρασία των δειγμάτων λευκού μανιταριού	83
6.1.5	Μεταβολή του χρώματος λευκού μανιταριού	84
6.1.6	Μεταβολή της υφής του λευκού μανιταριού	87
6.1.7	Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι του λευκού μανιταριού	88
6.2	Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης λευκού μανιταριού με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken	88
	Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	94
	Βιβλιογραφία	98
	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	98
	Ελληνική Βιβλιογραφία	109



## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ωσμωτική αφυδάτωση (Osmotic Dehydration, OD) είναι μια κοινή προκατεργασία που συνίσταται στην απομάκρυνση του νερού με εμβάπτιση τροφίμων σε υπερτονικά διαλύματα. Αυτή η διαδικασία μειώνει τις θρεπτικές και οργανοληπτικές απώλειες (γεύση, χρώμα και υφή) λόγω των ήπιων θερμοκρασιών στις οποίες πραγματοποιείται συνήθως (Maldonado et al., 2020). Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια ενεργειακά οικονομικότερη διαδικασία (Mirzayi et al., 2018), σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους απομάκρυνσης νερού (π.χ. εξάτμιση, αφυδάτωση, λυοφιλίωση, κλπ). Οι συνήθεις ωσμωτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι η σακχαρόζη (σε φρούτα) και λιγότερο συχνά άλλοι υδατάνθρακες και το χλωριούχο νάτριο ή κάποιο άλλο ανάλογο άλας (σε λαχανικά) (Maldonado et al., 2020), ωστόσο ορισμένοι ερευνητές προτείνουν τη χρήση ωσμωτικών διαλυμάτων πολλαπλών συστατικών (tertiary solutions), που αποτελούνται από εναλλακτικές διαλυτές ουσίες, όπως εναλλακτικούς υδατάνθρακες, πολυόλες, κλπ.).

Η ωσμωτική αφυδάτωση εφαρμόζεται ευρέως ως τεχνική συντήρησης τροφίμων φυτικής προέλευσης λόγω της σημαντικής ελάττωσης της ενεργότητας νερού που επιτυγχάνει (Ramya and Jain, 2016). Υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την εφαρμογή σε μήλα (Assis et al., 2018), μάνγκο (Sulistyawati et al., 2020), μπανάνες (Haque et al., 2020), φράουλες (Gamboa -Santos and Campañone, 2018), ακτινίδια (Kroehnke et al., 2021), καρότα (Haque et al., 2020), πατάτες (Dehghannya et al., 2017), ντομάτες (Giannakourou et al., 2020), κολοκύθες (Dermesonlouoglou et al. 2020) κ.λπ. Τα τελευταία χρόνια, αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης σε διάφορες ποικιλίες μανιταριών (González-Pérez et al., 2019; Pei et al., 2019, Anshu and Anju, 2018; Tolera and Abera, 2017 Ren et al., 2018).

Το λευκό μανιτάρι (*Agaricus Bisporus*) είναι το πιο κοινό βρώσιμο μανιτάρι (Singh et al., 2020). Τα μανιτάρια είναι μια καλή πηγή συμπλέγματος βιταμίνης Β, εργολοστερολών και μετάλλων όπως το σελήνιο. Επιπλέον, περιέχει ένα ευρύ φάσμα βιοδραστικών ενώσεων όπως τριτερπενοειδή, γλυκοπρωτεΐνες, φυσικά αντιβιοτικά, ένζυμα και αναστολείς ενζύμων που ενισχύουν την ανθρώπινη υγεία. Τα λευκά μανιτάρια έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, είναι πλούσια σε πρωτεΐνες υψηλής βιολογικής αξίας και

θεωρούνται απαλλαγμένα από χοληστερόλη.

Ωστόσο, ταμανιτάρια είναι ευαίσθητα σε σημαντικές και αναντίστρεπτες αλλοιώσεις και βλάβες λόγω της απουσίας προστατευτικής στρώσης του δέρματος. Επομένως, η διάρκεια ζωής τωνμανιταριών είναι περιορισμένη, περίπου 1-3 ημέρες υπό αποθήκευση περιβάλλοντος και 5-8 ημέρες σε συνθήκες ψύξης (Devi et al., 2020). Η γρήγορη αποικοδόμηση προκαλείται κυρίως από την υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, βιολογικές διαδικασίες, ενζυμική δραστηριότητα, χαμηλό pH και μικροβιακή αλλοίωση. Επιπλέον, η σάρκα τωνμανιταριών επηρεάζεται από το επίπεδο ωρίμανσης και οποιαδήποτε βλάβη στο κυρίως σώμα. Η σύντομη διάρκεια ζωής τωνμανιταριών είναι ένα μειονέκτημα που περιορίζει την οικονομική και εμπορική αξία του προϊόντος (Singh et al., 2020; Zhang et al., 2018).

Η μεθοδολογία της επιφάνειας απόκρισης (Response Surface Methodology) έχει εφαρμοστεί εκτενώς για τη βελτιστοποίηση των διαφόρων παραμέτρων διεργασιών και βασίζεται σε συγκεκριμένους πειραματικούς σχεδιασμούς, προκειμένου να εξοικονομηθούν πόροι και να γίνουν οι πειραματικές μετρήσεις με πιο ορθολογικό τρόπο. Τα κύρια πλεονεκτήματα του RSM είναι ότι προσφέρει μεγάλο αριθμό πληροφοριών από έναν σχετικά μικρό αριθμό πειραμάτων, επιτρέποντας την παρατήρηση τόσο της επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών στην απόκριση όσο και των πιθανών αλληλεπιδράσεών τους (Yuan et al., 2018). Οι πιο δημοφιλείς σχεδιασμοί για την υλοποίηση του RSM είναι ο Box-Behnken, Central Composite, κ.α., ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πειράματος. Τέλος, προκειμένου να εντοπιστούν οι βέλτιστες συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας, συχνά προτείνεται η προσέγγιση των συναρτήσεων/κριτηρίων αποδεκτότητας (Desirability Functions). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, τίθενται συγκεκριμένα κριτήρια-στόχοι της διεργασίας και με βάση τα αποτελέσματα του RSM, εντοπίζονται συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων λειτουργίας που πληρούν τα κριτήρια αυτά. Τέλος, οι συνθήκες που βρέθηκαν είναι δυνατόν να επαληθευτούν και πειραματικά με ανεξάρτητα πειράματα, ώστε να προσδιοριστεί το σφάλμα μεταξύ των προβλεπομένων και των πειραματικών τιμών.

Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να αναλύσει την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και τη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λευκώνμανιταριών. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας OD, διερευνήθηκε η επίδραση της

συγκέντρωσης γλυκερόλης, του χρόνου ώσμωσης και της θερμοκρασίας και προτάθηκε ένα πολυωνυμικό μοντέλο για να περιγράψει την επίδραση αυτή σε διαφορετικές αποκρίσεις, όπως π.χ. στη μεταφορά μάζας (WL, SG), την ενεργότητα νερού ( $a_w$ ) και την ποιότητα (χρώμα, υφή, πρόσληψη NaCl) ως συνάρτηση των μεταβλητών της διεργασίας (συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος, χρόνος και θερμοκρασία ωσμωτικής αφυδάτωσης). Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η συνδυασμένη προσέγγιση της μεθοδολογίας απόκρισης επιφάνειας με τις συναρτήσεις/κριτήρια αποδεκτότητας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διεργασία, ως προς συγκεκριμένους στόχους (μετέπειτα συντήρηση σε ψύξη/κατάψυξη ή αφυδάτωση σε ρεύμα αέρα) (Giannakourou et al., 2020). Τέλος, οι συνθήκες που προέκυψαν επαληθεύτηκαν με ανεξάρτητα πειράματα ώσμωσης των μανιταριών και τα αποτελέσματα έδειξαν ικανοποιητική προσέγγιση (μικρό σφάλμα) μεταξύ θεωρητικών (προβλεπομένων) και πειραματικών τιμών.

## Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια

### 2.1 Γενικά

Αυτό που έχει καθιερωθεί να ονομάζεται μανιτάρι είναι επί της ουσίας απλά το ορατό τμήμα ενός μύκητα. Αυτό που βλέπουμε δηλαδή είναι το «σώμα», ή η καρποφορία ενός πολυκύτταρου οργανισμού. Διαφορετικά ονομάζεται καρπόσωμα και είναι το όργανο αυτό του μύκητα επάνω στο οποίο θα αναπτυχθούν τα σπόρια που θα εξασφαλίσουν την διαίωξη του είδους. Πρόκειται δηλαδή για ένα όργανο που επιτελεί παρόμοιο ρόλο με αυτόν που έχουν τα άνθη και οι καρποί των φυτών. Μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε τα μανιτάρια σαν τις μακροσκοπικές καρποφορίες ορισμένων μυκήτων. Ένας άλλος ορισμός σύμφωνα με Chang και Miles (1992), το μανιτάρι είναι ένας μακρομύκητας που έχει χαρακτηριστικό καρπόσωμα επίγειο ή υπόγειο και αρκετά μεγάλο μέγεθος ώστε να είναι ορατό με γυμνό μάτι και η συλλογή του μπορεί να γίνει χειρωνακτικά. Η αλήθεια είναι πως κανένας ορισμός δεν μπορεί να καλύψει τη μεγάλη ποικιλία και να συμπεριλάβει όλα τα είδη των μανιταριών. Μπορούν να είναι Βασιδιομύκητες ή Ασμομύκητες, να είναι σαρκώδη ή να μην έχουν σαρκώδη υφή, μπορεί να μην είναι ορατά αλλά να φυτρώνουν υπογείως και δεν είναι υποχρεωτικό να είναι εδώδιμα καθώς υπάρχει πληθώρα δηλητηριωδών μανιταριών.

Πολλοί πιστεύουν ότι τα μανιτάρια έχουν την χαρακτηριστική ομβρελοειδή μορφή, στην πραγματικότητα όμως μπορούμε να συναντήσουμε μανιτάρια με πληθώρα διαφορετικών σχημάτων, χρωμάτων και μεγεθών. Η πλειοψηφία των ειδών τους φυτρώνουν στη γη και μπορεί να έχουν μορφή ομπρέλας ή ροπάλου αλλά και να μοιάζουν με κοράλλια, κύπελλα ή φωλιές πουλιών. Πολλά από αυτά είναι τόσο μικρά που είναι ορατά μόνο με χρήση μικροσκοπίου, άλλα μοιάζουν με μικρές κουκκίδες, ενώ άλλα με ιστό αράχνης. Βέβαια πράγματι ο πλέον συνήθης τύπος μανιταριού είναι αυτός με το σχήμα ομπρέλας που αποτελείται από ένα πλό (καπέλο) και στηρίζεται σε ένα στύπο (ποδίσκο).

Τα μανιτάρια ζουν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους υπογείως με τη μορφή μυκηλίου που αναπτύσσεται σαν ιστός κάτω από το έδαφος με τη μορφή μυκηλιακών υφών. Ζουν ακόμα σε φύλλα ή σε κορμούς δέντρων και όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές αναπτύσσουν



τα καρποσώματα, αυτό που εμείς καλούμε μανιτάρι.

Τα μανιτάρια δεν μπορούν να θεωρηθούν φυτά εξαιτίας της απουσίας της χλωροφύλλης, συνεπώς δεν μπορούν να παράξουν μόνα τους τις θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται όπως κάνουν τα φυτά με την φωτοσύνθεση και για αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται ως ετερότροφοι οργανισμοί. Ένας λόγος ακόμα που τα διαφοροποιεί με τα φυτά είναι η φυσιολογία τους, η οποία μοιάζει πιο πολύ με αυτή των ζώων αφού καταναλώνουν οξυγόνο και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα.

## 2.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τα αρχαία χρόνια τα μανιτάρια προσέλκυαν το ενδιαφέρον του ανθρώπου. Αρχικά, λόγω της εμφάνισης τους και λόγω των υπόλοιπων οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών και, έπειτα, για τις φαρμακευτικές τους ιδιότητες. Από τα προϊστορικά χρόνια οι άνθρωποι ξεκίνησαν να συλλέγουν και να τρέφονται με μανιτάρια και μάλιστα φαίνεται ότι αποτελούσαν σημαντική πηγή τροφής για εκείνους. Τη θεωρούσαν εύγεστη τροφή, η οποία μάλιστα ήταν γνωστή για θεραπευτικές της ιδιότητες.

Η ύπαρξη αυτών των πανάρχαιων οργανισμών αποδεικνύεται από απολιθώματα τους 400 εκατομμύρια χρόνια πριν. Υπάρχουν αναφορές για την ύπαρξη και την κατανάλωση τους σε πολλούς σημαντικούς πολιτισμούς της αρχαιότητας. Γραπτές αναφορές για τα μανιτάρια υπάρχουν από τον Ευριπίδη τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. και, μεταγενέστερα, από τον Πλούταρχο, τον Θεόφραστο και τον Διοσκουρίδη. Στα κείμενα αυτά, των αρχαίων συγγραφέων και κυρίως του Διοσκουρίδη αναγράφεται η αγάπη των αρχαίων Ελλήνων και Ρωμαίων για κατανάλωση μανιταριών. Τους ενδιέφερε πολύ η καλλιέργεια τους και ήταν οι πρώτοι που προβληματίστηκαν για την προέλευσή τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία υπήρχαν νόμοι για την εμπορία των μανιταριών.

Στην αρχαία Αίγυπτο, θεωρούνταν δώρο από τους θεούς και, μάλιστα, γι' αυτό και στους τάφους τον φαραώ έχουν βρεθεί εικονογραφήσεις μανιταριών. Στην αρχαία Ελλάδα και Ρώμη πιστευόταν ότι ήταν ιδιαίτερη τροφή που κατανάλωναν οι θεοί. Πιστευόταν, ακόμα,

ότι σε τελετές χρησιμοποιούνταν για τις θεραπευτικές, αλλά και τις ψυχότροπες και παραισθησιογόνες ιδιότητες τους. Υπάρχουν πολλά ευρήματα από την αρχαία Ελλάδα στα οποία απεικονίζεται κάποιο μανιτάρι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, ο δίσκος της Φαιστού στον οποίο πράγματι υπάρχει χαραγμένο ένα μανιτάρι.

Ο Θεόφραστος στο σύγγραμμα του «περί φυτών ιστορία» χρησιμοποιεί πρώτη φορά τη λέξη «μύκης» και έδωσε ονόματα σε πολλά είδη μανιταριών. Σύμφωνα με την αρχαία ελληνική μυθολογία, ο Περσέας ονόμασε τις Μυκήνες από τη λέξη μύκης που σήμαινε μανιτάρι. Ο μύθος, επίσης, αναφέρει ότι η γνωστή «αμβροσία» των θεών στην αρχαία Ελλάδα ήταν κατά πάσα πιθανότητα παραισθησιογόνα μανιτάρια. Αναγράφεται ότι τέτοια μανιτάρια καταναλώνονταν σε διάφορες θρησκευτικές τελετές στην αρχαία Ελλάδα, με σκοπό να δουν οράματα σχετικά με τους θεούς ή την αθανασία. Άλλοι αρχαίοι που μελέτησαν τα μανιτάρια ήταν ο Αριστοτέλης ο οποίος τα χαρακτήριζε «αινιγματικά» διότι ενώ τα ταξινόμησε στην κατηγορία των φυτών συνειδητοποίησε ότι αναπαράγονται πολύ πιο γρήγορα από τα υπόλοιπα φυτά. Ο Σωκράτης, πάλι, πίστευε ότι τα μανιτάρια αποτελούνται από πολύ μικρούς σπόρους, αδύνατο να διακριθούν με γυμνό οφθαλμό. Τέλος, ο Ιπποκράτης, μελέτησε τα εδώδιμα, φαρμακευτικά και τα δηλητηριώδη μανιτάρια και πώς μπορεί να θεραπεύσει τη δηλητηρίαση από αυτά.

Ο Διοσκουρίδης επισήμανε τις θεραπευτικές τους ιδιότητες ξεχωρίζοντας, επίσης τα εδώδιμα από τα δηλητηριώδη μανιτάρια, ενώ ο Νίκανδρος σε σύγγραμμα του καταγράφει ποια μανιτάρια ήταν θανατηφόρα. Σύμφωνα με τον Ευριπίδη, αναφέρονται πολλές περιπτώσεις που οι αρχαίοι συνάντησαν δηλητηριώδη μανιτάρια και κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν τις παρενέργειές τους. Μάλιστα, ίδιος ο Ευριπίδης αναφέρει «ατυχήματα» με δηλητηριώδη μανιτάρια το 400 π.Χ. τα οποία ανέλυσε και κατέγραψε τους κινδύνους κατανάλωσης δηλητηριωδών μανιταριών μετά την δηλητηρίαση της συζύγου και των παιδιών του. Για την αποφυγή δηλητηριάσεων και παρενεργειών, οι αρχαίοι Έλληνες ζητούσαν σε ειδικά εκπαιδευμένους συλλέκτες να εντοπίσουν τα εδώδιμα είδη μανιταριών.

Πράγματι, μεγάλο μέρος του κόσμου φοβόταν να τα καταναλώσει επειδή ήξεραν ότι είναι δηλητηριώδη σε σημείο να πιστεύεται ότι το να βρεις ή να καταναλώσεις ένα μανιτάρι

προμηνύει κάτι κακό και γι αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν και πολλές δεισιδαιμονίες γύρω από αυτά που κράτησαν ακόμα και μέχρι το μεσαίωνα. Αντίστοιχα, πολλοί λαοί τα αντιμετώπιζαν ως «μαγικά» εξαιτίας, ίσως, των παραισθησιογόνων ιδιοτήτων που είχαν κάποια συγκεκριμένα είδη με αποτέλεσμα τη δημιουργία διάφορων μύθων που είχαν μεγάλη επιρροή στη θρησκεία πολλών γνωστών πολιτισμών της αρχαιότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό των Μάγια και των Ατζέκων που τα χρησιμοποιούσαν σε θρησκευτικές τελετές, σύμφωνα με ευρήματα ανασκαφών που ήταν ή σκαλισμένες απεικονίσεις ή αγάλματα σε σχήματα μανιταριών. Παρόμοια χρήση των μανιταριών υπήρχε από πολλές φυλές ινδιάνων, ο οποίοι σε θρησκευτικές τελετές κατανάλωναν μανιτάρια και λόγω των παραισθησιογόνων τους ιδιοτήτων πίστευαν ότι έρχονταν πιο κοντά με τη φύση. Στην Ασία, υπήρχαν καλλιέργειες μανιταριών έως και 2000 χρόνια πριν, αφού Κινέζοι και Ιάπωνες τα θαύμαζαν για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες. Στην Ινδία τα χρησιμοποιούσαν για θεραπείες σε εγκαύματα.

Αξιοσημείωτη είναι η ανακάλυψη απολιθωμένου άντρα 5300 ετών στις Ιταλικές Άλπεις το 1991 που είχε πάνω του μανιτάρια του είδους *Piptoporus betulinus*, είδος που στις μέρες μας φημίζεται για τις αιμοστατικές του ιδιότητες. Ο Christian Person το 18<sup>ο</sup> αιώνα έθεσε τις βάσεις για την ονομασία και την ταξινόμηση των μανιταριών ενώ την ίδια περίοδο ο Elias Fries χρησιμοποιούσε μικροσκόπιο για να τα κατατάξει .

Οι πρώτες καλλιέργειες μανιταριών ήταν στη Γαλλία τα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα χάρη στο Γάλλο βοτανολόγο Tourneford ο οποίος κυκλοφόρησε το πρώτο εγχειρίδιο καλλιέργειας και έπειτα εμφανίστηκαν σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, αλλά και τις ΗΠΑ το 1920. Στην Ελλάδα, ο λαός μας είναι εξοικειωμένος με τα μανιτάρια και αυτό αποδεικνύεται από την πληθώρα ονομασιών με τα οποία αυτά είναι γνωστά στην ελληνική επαρχία. Η μυκοκλωρίδα της Ελλάδας περιλαμβάνει είδη με σπάνιες γαστρονομικές, χημικές και φαρμακευτικές ιδιότητες. Πολλές ελληνικές περιοχές, είναι γνωστές λόγω της ύπαρξης ξεχωριστών ειδών μανιταριών. Είναι γνωστό, μάλιστα, ότι η λέξη μανιτάρι προέρχεται από την αρχαιοελληνική λέξη αμανίτης. Σημειώνεται ότι οι πρώτες απόπειρες για καλλιέργεια μανιταριών στη Ελλάδα έγιναν το 1950. Συστηματικές καλλιέργειες άρχισαν να γίνονται με επιτυχία μετά το 1970.

## 2.3 Μύκητες

Τους μύκητες τους συναντάμε παντού στη φύση. Βρίσκονται στο έδαφος, στη θάλασσα, ακόμα και στον αέρα συναντάμε σπόριά τους. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν υπάρχουν πολλά υποστρώματα στα οποία δε βρίσκονται μύκητες. Υπάρχουν λοιπόν παντού και μάλιστα σε μεγάλο πλήθος. Θεωρούνται η δεύτερη πολυπληθέστερη ομάδα οργανισμών μετά τα έντομα. Είναι καταγεγραμμένα περίπου 70.000 διαφορετικά είδη ενώ υπολογίζεται ότι υπάρχουν περισσότερα από 1,5 εκατομμύριο είδη. Τα είδη των μανιταριών που είναι βρώσιμα είναι περίπου 2000.

Πρόκειται για ευκαρυωτικούς οργανισμούς, που έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τα φυτά και τα ζώα, αλλά ανήκουν σε ένα δικό τους ξεχωριστό βασίλειο, αυτό των μυκήτων. Το βασίλειο των μυκήτων περιλαμβάνει 7 φύλλα 35 τάξεις και 129 γένη.

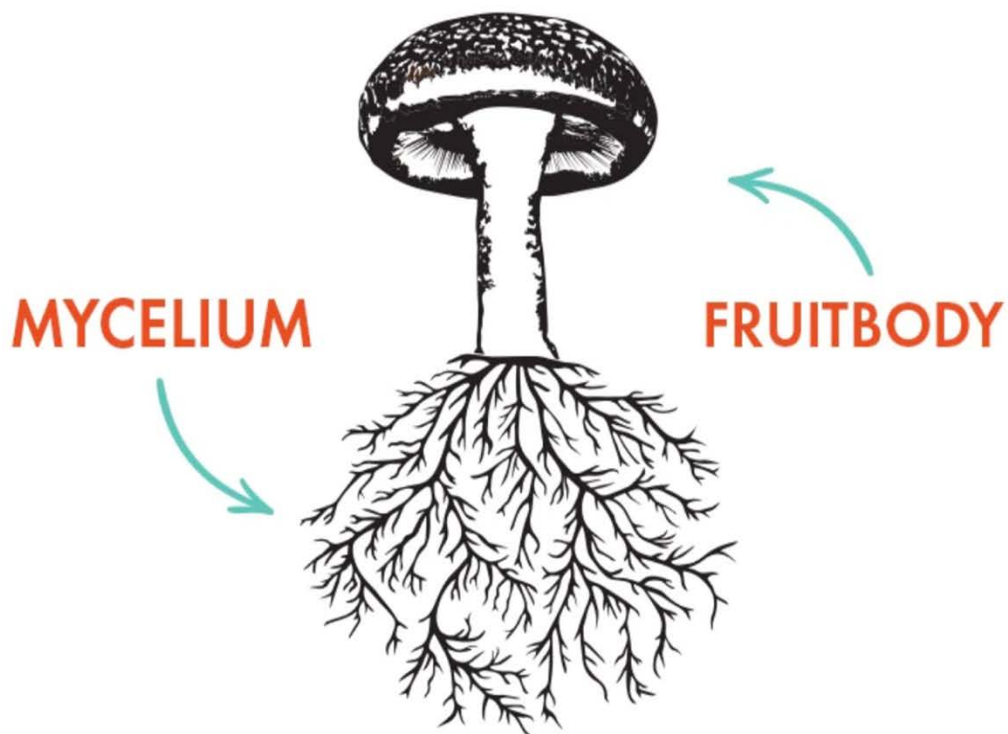
Διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα και χυμοτόπια αλλά η κύρια διαφορά τους με τα φυτά είναι ότι τους λείπει η χλωροφύλλη, με αποτέλεσμα να αδυνατούν να φωτοσυνθέσουν και να συνθέσουν οργανικές ουσίες. Είναι συνεπώς ετερότροφοι οργανισμοί, αφού δεν μπορούν να παράξουν μόνοι τους τις θρεπτικές ουσίες που χρειάζονται, αλλά τις βρίσκουν αποσυνθέτοντας οργανικές ουσίες που υπάρχουν στο έδαφος ή όποιο άλλο υπόστρωμα βρίσκονται. Αυτός είναι και ο βιολογικός ρόλος που έχουν στη φύση, να ανακυκλώνουν πολλά συστατικά όπως άνθρακα, άζωτο και οξυγόνο, αποσυνθέτοντας μεγάλα οργανικά μόρια σε πιο απλές μορφές με τις οποίες θα τραφούν άλλα μέρη του οικοσυστήματος. Εμπλέκονται λοιπόν σε μια πληθώρα αντιδράσεων που περιλαμβάνουν φυσικές, βιολογικές και χημικές αλληλεπιδράσεις και αυτές οι λειτουργίες τους κάνει να έχουν υψηλή οικολογική σημασία. Συνεπώς ενώ έχουν όμοια χαρακτηριστικά με τα φυτά έχουν εντελώς διαφορετικές, ίσως και αντίθετες λειτουργίες. Υπάρχει συγκεκριμένος επιστημονικός κλάδος που τους μελετάει και ονομάζεται μυκητολογία.

Όποιο κι αν είναι το υπόστρωμα στο οποίο αναπτύσσονται, οι μύκητες συνυπάρχουν με άλλους ζωντανούς οργανισμούς, και στην ουσία «συμβιώνουν» μαζί τους. Πολλές φορές για να τραφούν, επειδή όπως ειπώθηκε νωρίτερα είναι ετερότροφοι οργανισμοί,

«παρασιτίζουν», αναπτύσσονται δηλαδή εις βάρος άλλων οργανισμών λαμβάνοντας τα συστατικά που χρειάζονται από τον ξενιστή τους. Πολλές φορές ο ξενιστής μπορεί να μην αντέξει την παρασιτική ανάπτυξη του μύκητα με αποτέλεσμα να εξασθενήσει σταδιακά ακόμα και να προκληθεί ο θάνατος του. Πολλοί μύκητες είναι σαπροτροφικοί, αναπτύσσονται δηλαδή λαμβάνοντας τα απαραίτητα για αυτούς θρεπτικά συστατικά καταναλώνοντας νεκρή οργανική ύλη. Αυτό το επιτυγχάνουν με τη χρήση ενζύμων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πεσμένα φύλλα των δέντρων, τα οποία ανακυκλώνονται με αυτή τη διαδικασία εμπλουτίζοντας το έδαφος με χρήσιμα θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Τέλος υπάρχουν και οι συμβιωτικοί μύκητες που αναπτύσσουν μια μορφή συμβίωσης στη οποία και οι δύο οργανισμοί ωφελούνται. Αυτό γίνεται είτε ζώντας ανεξάρτητα και ανταλλάσσοντας νερό και θρεπτικά συστατικά καθώς το μυκήλιο του μύκητα ενώνεται με τις ρίζες των δέντρων και σχηματίζει μυκκόριζα, είτε σχηματίζοντας έναν τελείως νέο οργανισμό (π.χ. λειχήνες) .

Οι μύκητες για να λάβουν τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται από το υπόστρωμα στο οποίο βρίσκονται χρησιμοποιούν ένα πυκνό ιστό που ονομάζεται μυκήλιο και αποτελεί το κυρίως σώμα του μύκητα. Οπότε αν μιλάμε για ένα μύκητα που αναπτύσσεται στο έδαφος, το μυκήλιο του θα απλώνεται υπογείως και θα διακλαδίζεται κάτω από τις ρίζες άλλων φυτών.

Αυτό είναι στην ουσία το βλαστικό μέρος των μυκήτων, που ονομάζεται θαλλός και μπορεί είτε να είναι μονοκύτταρο, είτε να αποτελείται από νημάτια με σταθερή διάμετρο οι οποίες διακλαδίζονται και ονομάζονται μυκηλιακές υφές. Από αυτές λοιπόν ο μύκητας λαμβάνει τα απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη του και το σύνολο αυτών των υφών αποτελούν το μυκήλιο. Ένας αρχικός διαχωρισμός των μυκήτων, είναι λοιπόν σε μονοκύτταρους (ζύμες) και πολυκύτταρους ή μυκηλιακούς μύκητες.



**Εικόνα 1.** Μυκήλιο μανιταριού (fungi.com)

Οι υφές των μυκηλιακών μυκήτων μοιάζουν με ένα μικρό σωλήνα φτιαγμένο από την πρωτοπλασματική μεμβράνη και το κυτταρικό τοίχωμα που μέσα του περιέχει το πρωτόπλασμα, τα κυτταρικά οργανίδια και των πυρήνα. Διακρίνονται σε υφές που κατά διαστήματα έχουν εγκάρσια διαφράγματα που διακόπτουν το πρωτόπλασμα και στο οπτικό μικροσκόπιο φαίνεται να αποτελούνται από κύτταρα και για αυτό το λόγο ονομάζονται πολυκύτταρες υφές και οι μύκητες αυτοί πολυκύτταροι μύκητες. Αυτά τα διαφράγματα ή χωρίσματα εμφανίζονται στα πιο ανεπτυγμένα είδη μυκήτων. Συνήθως τέτοιοι πολυκύτταροι μύκητες είναι Βασιδιομύκητες είτε Ασκομύκητες. Ακόμα υπάρχουν μυκηλιακές υφές με ενιαίο εσωτερικό χώρο στους οποίους απουσιάζουν αυτά τα διαφράγματα και ονομάζονται κοινοκύτταρες υφές και αυτοί οι μύκητες κοινοκύτταροι μύκητες. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι Ζυγομύκητες.



**Εικόνα 2.** Μυκηλιακές υφές (buildaboar.com)

Οι μύκητες διακρίνονται σε τέσσερα βασικά φύλλα. Αυτά είναι οι Ασκομύκητες, οι Βασιδιομύκητες, οι Χυτριομύκητες και οι Ζυγομύκητες. Από αυτούς βρώσιμοι είναι οι Ασκομύκητες, με πιο γνωστό παράδειγμα Ασκομύκητα να είναι οι τρούφες και οι Βασιδιομύκητες, στους οποίους ανήκουν τα περισσότερα μανιτάρια.

Αναλυτικότερα, το φύλο Ασκομύκητες (Ascomycota) αποτελείται από 18.000 σαπροφυτικά και παρασιτικά είδη αλλά σημαντικό αριθμό μυκήτων των οποίων το 95% συμβάλουν στη δημιουργία λειχήνων. Χαρακτηριστικά είδη Ascomycota χρησιμοποιούνται στη βιολογική έρευνα επειδή χαρακτηρίζονται «μικροοργανισμοί-πρότυπα». Αυτά είναι τα *Neurospora crassa* και *Saccharomyces cerevisiae*. Τα σαπροφυτικά είδη παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης καθώς μπορούν να αποικίζουν μεγάλη ποικιλία υποστρωμάτων στη φύση. Οι Βασιδιομύκητες (Basidiomycota) αποτελούν μια μεγάλη ομάδα μυκήτων, που περιλαμβάνει μερικούς από τους πιο γνωστούς μύκητες και προσμετρά περίπου 22.000 είδη. Αποτελούνται από τις ομάδες Hymenomycetes, Urediniomycetets και Ustilaginomycetes. Στην πρώτη ομάδα των Hymenomycetes ανήκει το γένος *Agaricus* της οικογένειας Agaricaceae της τάξης Agaricales. Η τάξη αυτή περιλαμβάνει μύκητες όπου οι καρποφορίες τους (βασιδιοκάρπια) είναι μανιτάρια.



Οι Χυτριομύκητες (Chytridiomycota) είναι οι μοναδικοί μύκητες που παράγουν κύτταρα που μπορούν να κινηθούν αυτόνομα με τη βοήθεια ενός μαστίγιου. Συνήθως είναι σαπροφυτικοί ή πιο σπάνια παρασιτικοί σε φυτά, ζώα ή ακόμα και άλλων μυκήτων στο ίδιο ή άλλο φύλο. Οι Ζυγομύκητες (Zygomycota), αποτελούνται από δύο μεγάλες κλάσεις τη Zygomycetes, όπου πολλοί από τους μύκητες που εντάσσονται σε αυτή την κλάση έχουν σημαντικό ερευνητικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον, καθώς οι περισσότεροι αποτελούν αλλοιογόνα τροφίμων, και την Trichomycetes. Τα μέλη της δεύτερης κλάσης ζουν ως παράσιτα στο πεπτικό σύστημα υδρόβιων αρθροπόδων και άλλων μικρών οργανισμών.

## 2.4 Πολλαπλασιασμός - Αναπαραγωγή Μυκήτων

Οι περισσότεροι μύκητες έχουν την ιδιότητα να αναπαράγονται και να πολλαπλασιάζονται με τη χρήση ειδικών μονάδων αναπαραγωγής, που είναι τα σπόρια που σχηματίζονται από εξειδικευμένα αναπαραγωγικά όργανα. Τα σπόρια διακρίνονται σε δύο είδη, ανάλογα με το βιολογικό τους ρόλο και τον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται και αυτά είναι τα σπόρια εγγενούς και αγενούς αναπαραγωγής. Επίσης οι διαφορές στη μορφή και τη λειτουργία των αναπαραγωγικών οργάνων (κυρίως των εγγενών καρποφοριών) που παράγουν τα σπόρια των μυκήτων, αποτελούν χαρακτηριστικό διάκρισης τους και μας οδηγούν στο διαχωρισμό τους στις κατηγορίες των ασκομυκήτων και των βασιδιομυκήτων.

Τα σπόρια εγγενούς αναπαραγωγής προκύπτουν έπειτα από σεξουαλική σύζευξη πυρήνων-γαμετών αντίθετου φύλου (μπορεί να προέρχονται από το ίδιο ή και από διαφορετικό φυτό) και σχηματισμό ζυγωτών πυρήνων. Τέτοια σπόρια μπορεί να είναι ζυγοσπόρια, ασκοσπόρια ή βασιδιοσπόρια, τα οποία σχηματίζονται αποκλειστικά και από το αντίστοιχο είδος μύκητα (ζυγομύκητες, ασκομύκητες, βασιδιομύκητες). Η εγγενής αναπαραγωγή πραγματοποιείται σε τρεις φάσεις και αυτές είναι η πλασμογαμία η καριογαμία και η μείωση. Τα ασκοσπόρια και τα βασιδιοσπόρια σχηματίζονται σε εξειδικευμένα όργανα αναπαραγωγής, τους ασκούς (μικρά κύτταρα σε σχήμα σάκου/ασκού) και τα βασίδια (μικρά κύτταρα σε σχήμα ροφάλου), τα οποία με τη σειρά τους βρίσκονται είτε στο εσωτερικό αλλά και πολλές φορές στην επιφάνεια του «μανιταριού», της καρποφορίας εγγενούς αναπαραγωγής δηλαδή του μύκητα. Αναλόγως



την περίπτωση λοιπόν το καρπόσωμα αυτό θα είναι ασκοκάρπιο ή βασιδιοκάρπιο.

Η αγενής αναπαραγωγή γίνεται με τα κονίδια, που είναι σπόρια τα οποία σχηματίζονται μετά τον μιτωτικό πολλαπλασιασμό των πυρήνων. Είτε σχηματίζονται στο εσωτερικό σποριαγγείων είτε παράγονται από κονιδιοφόρους που σχηματίζονται από υφές του μυκηλίου. Σκοπός των κονιδίων είναι ο πολλαπλασιασμός του αρχικού οργανισμού, για αυτό το λόγο παράγονται σε πολύ μεγάλους αριθμούς και όταν βρουν το κατάλληλο υπόστρωμα βλασταίνουν, δίνοντας ένα καινούργιο μυκήλιο που θα έχει το γονότυπο του αρχικού μυκηλίου από το οποίο είχε παραχθεί το κονίδιο.

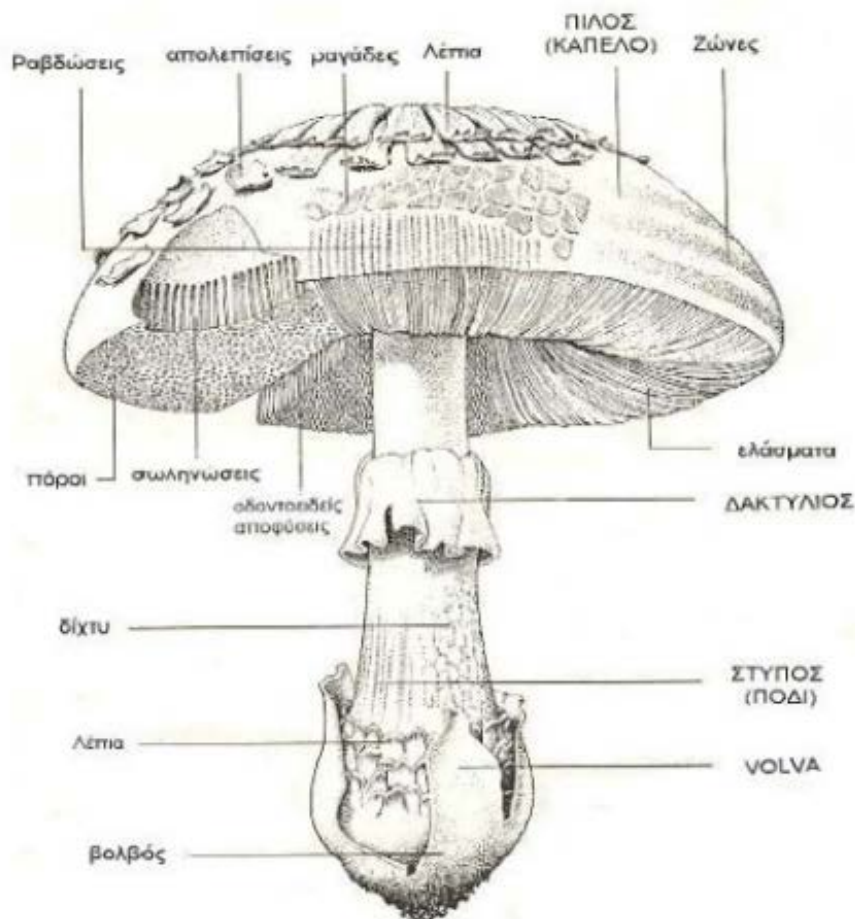
## **2.5 Μορφολογία - Ανατομία Καρποσωμάτων Μυκητών**

Η μορφή των μανιταριών, των καρποσωμάτων δηλαδή των μυκήτων, διαφέρει από είδος σε είδος και παρουσιάζει πολύ μεγάλη ποικιλία.

Η πιο σύνηθης αλλά και οικεία στον περισσότερα κόσμο είναι η περίπτωση των βασιδιομυκήτων με το σαρκώδες καρπόσωμα που μοιάζει με ομπρέλα και αποτελείται από το στύπο στου οποίου την κορυφή στηρίζεται ο πύλος. Ο πύλος μπορεί να είναι σφαιρικός ή με σχήμα ημισφαιρίου, να είναι επίπεδος, κοίλος ή κυρτός. Ο στύπος σε αντίθεση με τον πύλο δεν είναι αναπαραγωγικό τμήμα, αλλά υπάρχει απλά για να τον στηρίζει, είναι κατακόρυφος, μπορεί να έχει ευθεία ή διαφορετική κατεύθυνση και σε κάποια είδη βγαίνει απευθείας από το έδαφος ενώ σε άλλα βγαίνει μέσα από μία βόλβα. Στην επιφάνεια κάτω από τον πύλο είναι σχηματισμένα σε διάταξη ακτινών τα ελάσματα. Στην πάνω επιφάνεια υπάρχει η επιδερμίδα και ανάμεσα σε αυτήν και τα ελάσματα η σάρκα. Στο χείλος των ελασμάτων υπάρχει το υμένιο και εκεί σχηματίζονται τα βασίδια και τα βασιδιοσπόρια. Η διάταξη αυτής της υμενοφόρου επιφάνειας είναι έτσι, δηλαδή από την κάτω πλευρά του πύλου για να διευκολύνεται η πτώση των σπορίων προς το έδαφος. Ανάμεσα στα βασίδια υπάρχουν τα κυστίδια. Τα βασίδια στα περισσότερα είδη είναι μονοκύτταρα και αναπτύσσουν τέσσερα μικρά νημάτια τα στηρίγματα τα οποία δίνουν από ένα βασιδιοσπόριο το καθένα. Άρα τέσσερα βασιδιοσπόρια από κάθε βασίδιο. Βασίδια και βασιδιοσπόρια έχουν μικρό μέγεθος και χρειάζονται μικροσκόπιο για τη

μελέτη τους. Όλα τα μανιτάρια με πύλο, στύπο, ελάσματα και την μορφή ομπρέλας κατατάσσονται στην τάξη Agaricales και είναι συγγενή μεταξύ τους.

Οι ασκομύκητες έχουν αρκετά διαφορετική μορφή και συνήθως έχουν σχήμα κυπέλλου, σφαίρας ή δίσκου, ενώ λίγοι είναι αυτοί που παράγουν καρποσώματα. Παράγουν σποριαγγεία σε σχήμα ασκού μέσα στα οποία περιέχονται τα ασκοσπόρια που είναι συνήθως οκτώ σε αριθμό. Οι ασκοί βρίσκονται μέσα στα που είναι εξειδικευμένα όργανα με σκοπό να τους προστατεύουν .



**Εικόνα 3.** Μορφολογικά χαρακτηριστικά καρποσώματος βασιδιομύκητα ομβρελοειδούς μορφής (Courtecuisse & Duhem 1995)

## 2.6 Κύκλος Ζωής Μανιταριών

Κάθε μανιτάρι παράγει πολύ μεγάλο αριθμό σπορίων και τα απελευθερώνει στο περιβάλλον. Αυτά ταξιδεύουν πολύ μακριά από τον αρχικό οργανισμό και μόλις βρουν το κατάλληλο υπόστρωμα και ευνοϊκές συνθήκες θα βλαστήσουν, κάποια απευθείας, ενώ άλλα αφού ξηραθούν και επανενυδατωθούν.

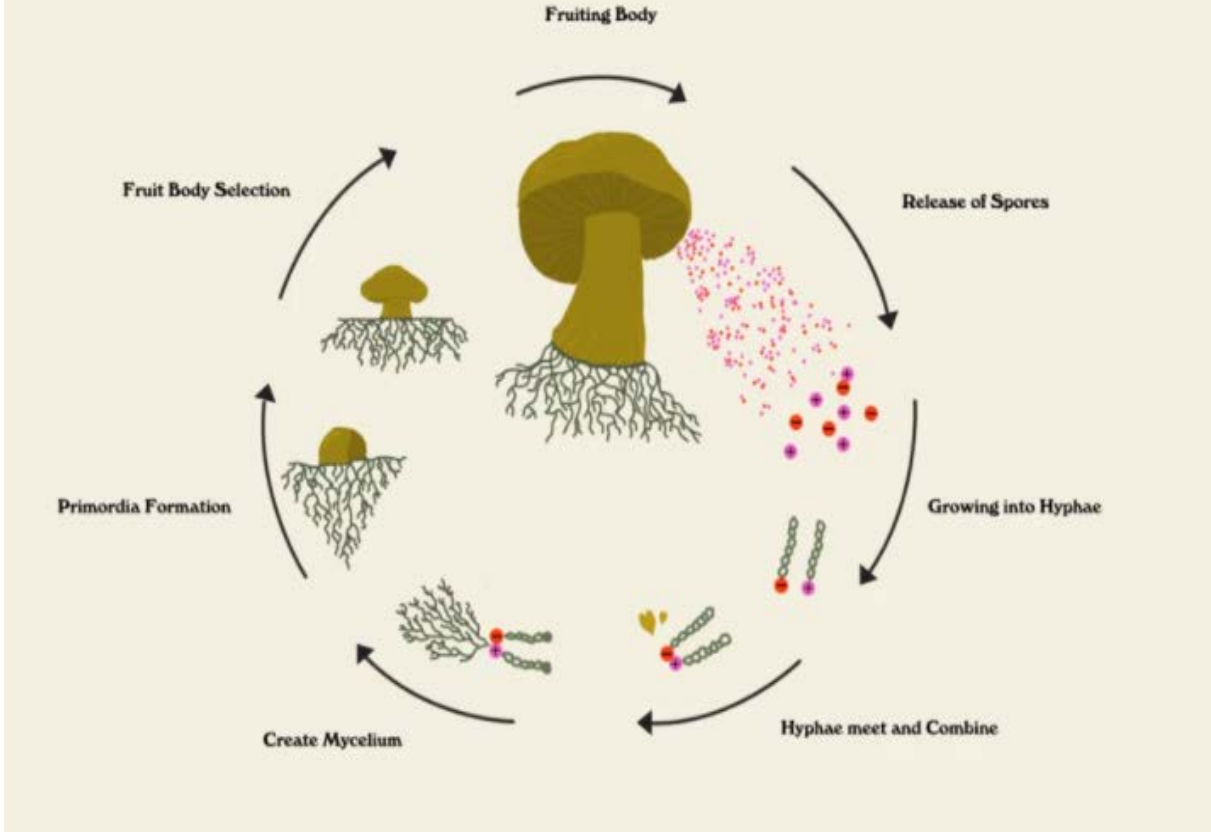
Ο βιολογικός κύκλος λοιπόν συνεχίζεται με τα σπόρια που βλασταίνουν σχηματίζοντας νημάτια κυττάρων, τις υφές. Υφές που αποτελούνται από σπόρια αντίθετου φύλου θα ζευγαρώσουν και θα συγχωνευτούν δημιουργώντας το μυκήλιο.

Στη συνέχεια το μυκήλιο θα αναπτυχθεί και θα επεκταθεί διασπώντας οργανική ύλη και απορροφώντας θρεπτικά συστατικά από το περιβάλλον.

Την κατάλληλη εποχή τα κύτταρα του μυκηλίου συναθροίζονται σε ένα «κόμπο» υφών σχηματίζοντας ένα αρχέγονο, που έχει μέγεθος κεφαλιού καρφίτσας. Ο οργανισμός θα επιλέξει το περισσότερο υποσχόμενο αρχέγονο για να αναπτυχθεί σε καρπόσωμα και θα του διοχετεύσει με χρήση ενζύμων τα θρεπτικά συστατικά που θα το βοηθήσουν να αναπτυχθεί.

Το ανεπτυγμένο πλέον καρπόσωμα που είναι το γνωστό μας μανιτάρι θα παράγει με τη σειρά του σπόρια και θα τα απελευθερώσει και αυτό στο περιβάλλον για πολλαπλασιασμό ξεκινώντας ένα νέο κύκλο ζωής. Σε ιδανικές συνθήκες η μετατροπή σπορίου σε μυκήλιο και έπειτα σε μανιτάρι μπορεί να διαρκέσει μερικές μόνο μέρες.

# Mushroom Life Cycle



Εικόνα 4. Κύκλος ζωής μανιταριού (rainbo.com)

## 2.7 Συστατικά

Τα μανιτάρια είναι ένα τρόφιμο υψηλής διατροφικής αξίας, ενώ μερικά έχουν και φαρμακευτικές ιδιότητες και συχνά χρησιμοποιούνται ως συμπλήρωμα διατροφής. Οι καταναλωτές ενδιαφέρονται ολοένα και περισσότερο για θέματα διατροφής και υγείας τα τελευταία χρόνια. Τα μανιτάρια μπορούν να θεωρηθούν ως ένα λειτουργικό τρόφιμο και έχουν τη δυνατότητα, σύμφωνα με πολλές επιστημονικές μελέτες να προλαμβάνουν ή και να καταστέλλουν ασθένειες.

Αποτελούνται κυρίως από νερό όπως τα περισσότερα φρούτα και λαχανικά σε ποσοστό περίπου 90%. Η αξία τους σε πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι αρκετά υψηλή κοντά σε κρέας

και γάλα για πολλά είδη μανιταριών υψηλότερη από αυτή των λαχανικών. Εκτός από την υψηλής ποιότητας πρωτεΐνη, είναι καλή πηγή λιπαρών, φωσφόρου, σιδήρου και βιταμινών όπως θειαμίνη ριβοφλαβίνη, ασκορβικό οξύ, εργοστερόλη και νιασίνη είναι χαμηλά σε θερμίδες, υδατάνθρακες και ασβέστιο. Αναφέρεται ότι έχουν λιπιδικό περιεχόμενο μεταξύ 0.6 και 3.1% σε ξηρή βάση με 70% του συνολικού λιπιδικού περιεχομένου να αποτελείται από τα βασικά για τη διατροφή ακόρεστα λιπαρά οξέα (Miles & Chang, 2004).

### **Πρωτεΐνες**

Δημοσιεύσεις για το πρωτεϊνικό περιεχόμενο δημοφιλών βρώσιμων μανιταριών *Agaricus Bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus spp.*, *volvariella volvacea* που καλλιεργούνται για εμπορικούς λόγους σε πολλές χώρες ποικίλουν από 1,75 ως 3,63% του βάρους τους (Chang, 1980). Σε μερικές περιπτώσεις η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες φτάνει μέχρι και το 5.9% (Flegg & Maw) αλλά μια αξία σε πρωτεΐνες περίπου 3,5-4% είναι πιο αντιπροσωπευτική. Άρα το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των μανιταριών είναι περίπου διπλάσιο από αυτό των σπαραγγιών και του λάχανου και τέσσερις με δώδεκα φορές περισσότερο από αυτό του πορτοκαλιού και του μήλου αντίστοιχα. Σε ξηρή βάση τα μανιτάρια περιέχουν 19 με 35% πρωτεΐνες σε σύγκριση με 7,3% που έχει το ρύζι, 13,2% το σιτάρι, 39,1% της σόγιας και 25,2% του γάλατος. Συνεπώς, η ποσότητα των πρωτεϊνών των μανιταριών μπορεί να είναι μικρότερη από του κρέατος, αλλά είναι μεγαλύτερη από σχεδόν όλα τα άλλα τρόφιμα συμπεριλαμβανομένου και του γάλατος που είναι ζωικό προϊόν. Σημασία όμως δεν έχει μόνο η ποσότητα των πρωτεϊνών αλλά και η ποιότητα. Τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης πάντα έχουν περισσότερο ισορροπημένες και υψηλότερης ποιότητας πρωτεΐνες από τρόφιμα φυτικής προέλευσης που στερούνται πολλές φορές τα εννιά απαραίτητα αμινοξέα που ο άνθρωπος δεν μπορεί να παράγει από μόνος του. Οι πρωτεΐνες των κοινώς καλλιεργούμενων εδώδιμων μανιταριών περιέχουν και τα εννιά απαραίτητα αμινοξέα που είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη διατροφή (Miles & Chang, 2004).

Πίνακας 2.1: Σύσταση μανιταριών (σε ξηρή βάση) (Miles & Chang, 2004)

Είδος μανιταριού	Υγρασία	Ακατέργαστες πρωτεΐνες	Λίπος	Υδατάνθρακες	Ίνες	Τέφρα	Ενεργειακή αξία
<i>Agaricus bisporus</i>	78.3-90.5	23.9-34.8	1.7-8	51.3-62.5	8-10.4	7.7-12	328-3
<i>Agaricus campestris</i>	89.7	33.2	1.9	56.9	8.1	8	354
<i>Auricularia sp.</i>	89.1	4.2	8.3	82.8	19.8	4.7	351
<i>Boletus edulis</i>	87.3	29.7	3.1	59.7	8	7.5	362
<i>Flammulina velutipes</i>	89.2	17.6	1.9	73.1	3.7	7.4	378
<i>Lentinula edodes</i>	90.0-91.8	13.4-17.5	4.9-8	67.5-78.0	7.3-8	3.7-7	387-3
<i>Pleurotus eous</i>	92.2	25	1.1	59.2	12	9.1	261
<i>Pleurotus florida</i>	91.5	27	1.6	58	11.5	9.3	265
<i>Pleurotus ostreatus</i>	73.7-90.8	10.5-30.4	1.6-2.2	57.6-81.8	7.5-8.7	6.1-9.8	345-3
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	90.1	26.6	2	50.7	13.3	6.5	300
<i>Volvariella diplasia</i>	90.4	28.5	2.6	57.4	17.4	11.5	304
<i>Volvariella volvacea</i>	89.1	25.9	2.4	-	9.3	8.8	276

## Λίπος

Το περιεχόμενο σε λίπος σε διαφορετικά είδη μανιταριών ποικίλει από 1.1 – 8.3% σε ξηρή βάση με έναν πιο αντιπροσωπευτικό μέσο όρο περιεκτικότητας στο 4%. Το λίπος των μανιταριών αποτελείται από ελεύθερα λιπαρά οξέα, μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, τριγλυκερίδια, στερόλες και φωσφολιπίδια. Τουλάχιστον το 72% των συνολικών λιπαρών οξέων βρέθηκαν να είναι ακόρεστα σε πολλά είδη μανιταριών όπως στα *Lentinula edodes*, *Volvariella volvacea* και *Agaricus bisporus*. Το υψηλό περιεχόμενο σε ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι κυρίως λόγω του λινολεϊκού οξέος το οποίο από το σύνολο των λιπαρών οξέων περιέχεται στα τρία αυτά κοινώς καλλιεργούμενα μανιτάρια σε ποσοστό 76%, 70% και 69% αντίστοιχα. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα όπως είναι γνωστό είναι απαραίτητα για τη διατροφή, σε αντίθεση με τα κορεσμένα που περιέχονται σε μεγάλες ποσότητες στα ζωικά λίπη και μπορεί να είναι επιβλαβή για την υγεία. Άρα η υψηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά με μεγάλο ποσοστό αυτών να είναι λινολεϊκό οξύ είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθιστά τα μανιτάρια υγιεινό τρόφιμο (Miles & Chang, 2004).

## Βιταμίνες

Αναφέρεται ότι τα εδώδιμα μανιτάρια είναι καλή πηγή πολλών βιταμινών όπως θειαμίνης (βιταμίνη B1), ριβοφλαβίνης (βιταμίνη B2), νιασίνης, βιοτίνης, και ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C) (Crisan & Sands, 1978). Η θειαμίνη σε mg για κάθε 100 gr ξηρού βάρους ποικίλει σε περιεκτικότητες από 0.35 mg στη *V. volvacea*, σε 1.14mg στο *A. bisporus*, σε 1.16 με 4.8 mg στο *pleurotus spp.*, σε 7.8 mg στη *L. edodes*. Η νιασίνη υπάρχει σε περιεκτικότητες 54.9 mg στη *L. edodes*, 55.7mg στο *A. bisporus* 64.88 στη *V. volvacea* και 46 με 108.7mg στο *Pleurotus spp.* Η περιεκτικότητα της ριβοφλαβίνης ήταν 5 mg στα 100 gr ξηρού βάρους στο *A.bisporus*, 4.9mg στη *L. edodes* και 1.6-3 mg στη *V. volvacea* (Miles & Chang, 2004). Η *L. edodes* έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) με 9.4 mg και ακολουθούν το *P. sajor-caju*, *A. bisporus*, *V. volvacea* με 7.4, 1.8 και 1.4 mg αντίστοιχα. Επίσης μια χαρακτηριστική στερόλη που περιέχεται στους μύκητες, η εργοστερόλη είναι προβιταμίνη της βιταμίνης D<sub>2</sub>, στην οποία μετατρέπεται με έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία και περιέχεται σε χαμηλές περιεκτικότητες σε μανιτάρια όπως *V. volvacea*, *A. bisporus* και *L.edodes* (Miles & Chang, 2004).

### **Υδατάνθρακες και Φυτικές ίνες**

Στα είδη *Pleurotus* οι υδατάνθρακες περιέχονται από 46 έως 82% ενώ στο *Agaricus bisporus* 60% σε ξηρό βάρος. Οι φυτικές ίνες βρίσκονται σε περιεκτικότητα 7 με 28% στα είδη *Pleurotus* και 10% στο *A.bisporus* (Miles & Chang). Οι φυτικές ίνες είναι ένα από τα πολύ σημαντικά για μια ισορροπημένη και υγιεινή διαίτα. Μάλιστα οι δίαιτες με μεγάλη ποσότητα φυτικών ινών βοηθούν στην καταπολέμηση πολλών παθήσεων όπως ο διαβήτης. (Anderson & Ward, 1979).

### **Μέταλλα και ιχνοστοιχεία**

Τα μανιτάρια είναι και πολύ καλή πηγή μετάλλων με κυρίαρχα στα περισσότερα είδη το κάλιο, που συμβάλει στην καλή λειτουργία του σκελετού και των μυών της καρδιάς και τον φώσφορο. Ακόμα περιέχουν νάτριο, ασβέστιο και μαγνήσιο και σε πιο μικρές ποσότητες χαλκό, ψευδάργυρο, σίδηρο και κάδμιο. (Miles & Chang, 2004). Έχουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε σελήνιο που εκτιμάται ότι έχει καρδιοπροστατευτική δράση, μειώνοντας τη συγκέντρωση της LDL χοληστερόλης και αντικαρκινική δράση, εξουδετερώνοντας τις ελεύθερες ρίζες και δε συναντάται εύκολα σε άλλα φυτικά προϊόντα παρά μόνο σε σιτηρά και τρόφιμα φυτικής προέλευσης.

Συμπερασματικά τα εδώδιμα μανιτάρια είναι χαμηλά σε θερμιδικό περιεχόμενο, πλούσια σε πρωτεΐνες και υδατάνθρακες, χαμηλά σε λιπαρά, είναι καλή πηγή των βασικών αμινοξέων, βιταμινών και μετάλλων και έχουν σημαντικές ποσότητες φυτικών ινών.

## **2.8 Το λευκό μανιτάρι**

Το λευκό μανιτάρι (*Agaricus bisporus*) ανήκει στους βασιδιομύκητες και ταξινομείται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2.2:** Ταξινόμηση *Agaricus bisporus*

Ταξινόμηση του *Agaricus bisporus*



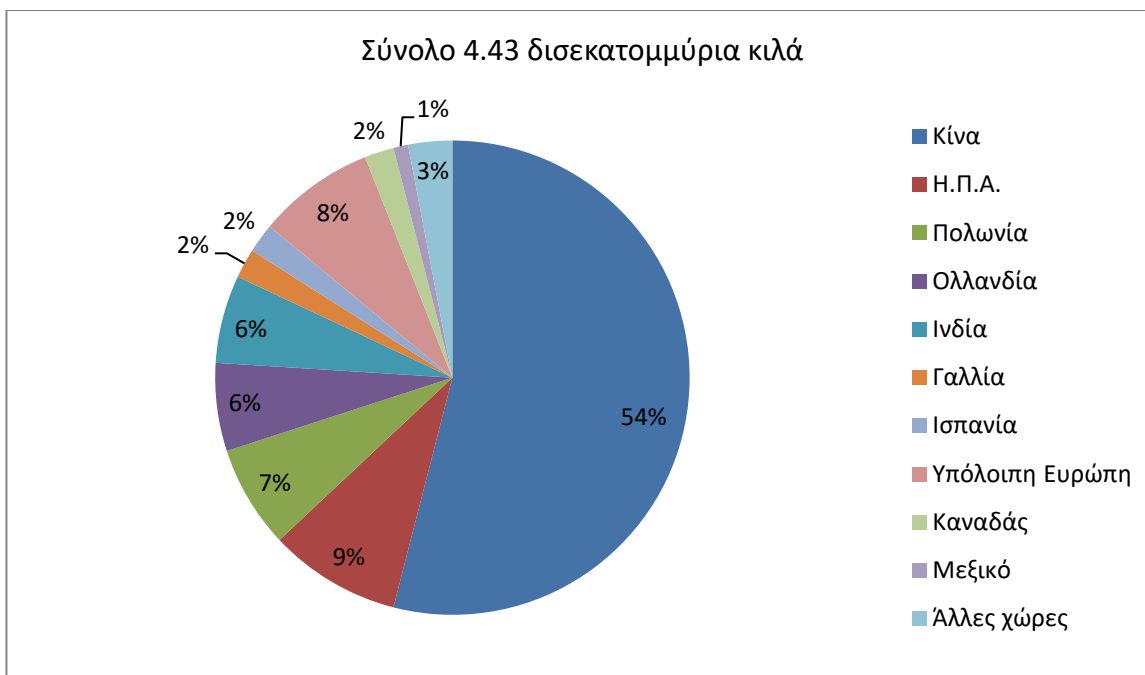
Κλάση	BASIDIOMYCETES
Υποκλάση	HOMOBASIDIOMYCETES
Τάξη	AGARICALES
Υπόταξη	AGARICALES
Οικογένεια	AGARICACEAE
Γένος	AGARICUS
Είδος	BISPORUS

Πρόκειται για το κυριότερο εμπορικά καλλιεργούμενο είδος. Ο πύλος του είναι χοντρός, σαρκώδης, άσπρος ή γκριζός με στρογγυλή μορφή και χείλη γυριστά προς τα κάτω ή πιο απλωμένο και σχεδόν επίπεδος. Τα ελάσματα είναι πυκνά, άνισα, ελεύθερα από το στύπο, αρχικά άσπρα και αργότερα παίρνουν ένα κοκκινωπό χρώμα. Ο στύπος είναι μικρός σε μήκος και πλατύς, σαρκώδης και χωρίζεται εύκολα από τον πύλο. Το λευκό μανιτάρι καρποφορεί φθινόπωρο και άνοιξη.

Το 1997 η παραγωγή του παγκοσμίως ήταν περίπου 2 εκατομμύρια τόνοι σε περισσότερες από εκατό χώρες με μεγαλύτερη παραγωγή αυτή της Κίνας μετά των Ηνωμένων Πολιτειών και έπειτα άλλων ευρωπαϊκών χωρών. Η παραγωγή του ήταν περίπου το 30% του συνόλου των εδώδιμων μανιταριών (Miles & Chang, 2004).

**Πίνακας 2.3** : Οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή λευκού μανιταριού το 1999-2000) (Miles & Chang, 2004).

Χώρα	Παραγωγή (σε τόνους Χ1000)
Κίνα	673.3
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	391.0
Ολλανδία	263.0
Γαλλία	180.0
Πολωνία	105.0
Ιταλία	102.0
Ισπανία	92.0
Ιρλανδία	83.0
Ηνωμένο Βασίλειο	80.0
Γερμανία	60.0



Εικόνα 5. Παραγωγή λευκού μανιταριού παγκοσμίως 2013 (Roysse et al., 2017).

## 2.9 Πληροφορίες για την καλλιέργεια μανιταριών

### 2.9.1 Περιβάλλον και προϋποθέσεις καλλιέργειας του μανιταριού

**Φως.** Τη μικρότερη σημασία για τη καλλιέργεια έχει το φως λόγω του ότι το μανιτάρι στερούμενο χλωροφύλλης είναι ανίκανο να φωτοσυνθέσει αλλά λαμβάνει έτοιμη την τροφή του από τα υποστρώματα πάνω στα οποία καλλιεργείται. Συνεπώς, μπορεί κάλλιστα να αναπτυχθεί σε σκοτεινούς χώρους. Το φως επηρεάζει έμμεσα τις καλλιέργειες με το να ξηραίνει τις κομπόστες και τους χώρους, να υποβοηθεί στην εξάτμιση και στην ανάπτυξη εντόμων. Φως χρειάζεται μόνο για τις καλλιεργητικές εργασίες και φροντίδες.

**Θερμοκρασία.** Η θερμοκρασία είναι συντελεστής μεγάλης σημασίας στην καλλιέργεια μανιταριών. Η κανονική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 12 και 27 °C.. Θερμοκρασίες κάτω των 10 °C. αναστέλλουν και επιβραδύνουν την ανάπτυξη, ενώ θερμοκρασίες άνω των 32°C. καταστρέφουν την ανάπτυξη και την ποιότητα των μανιταριών. Ιδανική θεωρείται η θερμοκρασία γύρω στους 18 °C.

**Υγρασία.** Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα μανιτάρια περιέχουν περίπου 88% νερό, ένας συντελεστής με αρκετή σημασία είναι η υγρασία στις κομπόστες και στην ατμόσφαιρα των χώρων καλλιέργειας. Κατά τα πρώτα στάδια της παραγωγής ο αέρας πρέπει να είναι κορεσμένος με υδρατμούς και ελαττώνεται σταδιακά σε 70 έως 75% σχετική υγρασία. Οι κομπόστες καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής, πρέπει να περιέχουν 60 έως 65% υγρασία.

**Αερισμός.** Ο εξαερισμός είναι επίσης απαραίτητος σε όλη τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής. Οι κομπόστες αλλά και τα μανιτάρια κατά την ανάπτυξη τους παράγουν τοξικά αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, αμμωνία) που πρέπει να απελευθερώνονται αμέσως από τους χώρους καλλιέργειας.

## 2.9.2 Υποστρώματα-κομπόστες για την καλλιέργεια των μανιταριών

Το μανιτάρι (*Agaricus*) ανήκει στα είδη των μανιταριών που τρέφονται (σαπροφυτούν) σε οργανικές ουσίες που βρίσκονται στις κοπριές διαφόρων ζώων. Πολλές έρευνες και εργασίες έχουν γίνει και γίνονται για την κατασκευή κομπόστων για την καλλιέργεια των μανιταριών. Τελευταία, μεγάλη πρόοδος έχει γίνει στην κατασκευή συνθετικής κομπόστας. Το είδος της κομπόστας που θα χρησιμοποιηθεί συνδυάζεται πάντα και με τη διαδικασία ζύμωσης που ακολουθείται (αερόβια, αναερόβια, γρήγορη ζύμωση, αργή ζύμωση, μέθοδος απολύμανσης). Μια καλά κατασκευασμένη κομπόστα από αλογοκοπριά είναι η καλύτερη.

## 2.10 Βασικά αίτια αλλοίωσης του λευκού μανιταριού

Τα λευκά μανιτάρια δεν έχουν επιδερμίδα για να τα προστατεύουν από φυσικές βλάβες, μικροβιακή προσβολή και απώλεια νερού (Tarlak et al., 2020). Έχουν πολύ υψηλό ρυθμό αναπνοής και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά επιρρεπή σε μικροβιακή αλλοίωση, απώλεια βάρους, υποβάθμιση υφής και ενζυμική αμαύρωση (Brennan et al., 2000; Zalewska et al., 2018). Είδη *Pseudomonas* spp. έχουν απομονωθεί ως ο πιο άφθονος μικροοργανισμός που ευθύνεται για την αλλοίωση των μανιταριών (Simón & González-Fandos, 2010; Venturini et al., 2011). Άλλα πιθανά αίτια αλλοίωσης των μανιταριών αφορούν σε κάμψη του πύλου προς τα πάνω, άνοιγμα του πέπλου, καφέ αποχρωματισμός λόγω μηχανικής βλάβης, κλπ. Η διάρκεια ζωής των μανιταριών είναι πολύ περιορισμένη, και αυτό είναι το βασικό αίτιο που μπορούν να χάσουν την εμπορική τους αξία μέσα σε λίγες μέρες (Doymaz, 2014b; Gantner et al., 2017). Αυτό είναι ένα μεγάλο πρόβλημα για τη διανομή και εμπορία φρέσκων μανιταριών.

Η απώλεια του χαρακτηριστικού λευκού χρώματος των φρέσκων μανιταριών οφείλεται σε ενζυμική αμαύρωση (Wrona et al, 2015). Η ενζυμική αμαύρωση είναι μια χημική διαδικασία που περιλαμβάνει την αντίδραση υποστρωμάτων όπως μονοφαινόλες και πολυφαινόλες με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο παρουσία ενζύμων, και την επακόλουθη παραγωγή χρωστικών υψηλού μοριακού βάρους (μελανίνες) (Montero, Martinez-Alvarez, Zamorano, Alique, & Gomez-Guillen, 2006). Οι φαινόλες και ειδικά οι πολυφαινόλες (που περιέχουν δύο ή περισσότερες ομάδες φαινόλης) προσδίδουν το χρώμα πολλών φυτικών προϊόντων, τη γεύση και το άρωμα των ποτών, και είναι επίσης γνωστά αντιοξειδωτικά. Οι πιο σημαντικές φαινολικές ενώσεις που συμμετέχουν ως υπόστρωμα στην αντίδραση αμαύρωσης στο μανιτάρι είναι η τυροσίνη, L-DOPA και pyrogallol (Dubost, Ou, & Beelman, 2007; Ferguson, 2001). Το κύριο ένζυμο στην αντίδραση της αμαύρωσης των μανιταριών είναι η τυροσινάση (EC 1.14.18.1), η οποία ανήκει στην οικογένεια των πολυφαινολεξειδασών. Η τυροσινάση είναι μια πρωτεΐνη που περιέχει χαλκό. Τα δύο άτομα χαλκού στην ενεργή θέση του ενζύμου αλληλεπιδρούν με το οξυγόνο για να σχηματιστεί ένα πολύ δραστικό χημικό ενδιάμεσο που οξειδώνει το υπόστρωμα (Kim & Uyama, 2005; Seo, Sharma, & Sharma, 2003). Η ενζυμική αμαύρωση πραγματοποιείται σε δύο στάδια: την υδροξυλίωση των μονοφαινόλων προς ο-διφαινόλες και την οξείδωση των ο-διφαινόλων σε ο-κινόνες. Το

πρώτο είναι αναστρέψιμο, αλλά το δεύτερο είναι μη αναστρέψιμο, προκαλώντας μόνιμη αλλαγή χρώματος από λευκό σε καφέ.

Αναφορικά με τις βέλτιστες συνθήκες αποθήκευσης, αμέσως μετά τη συγκομιδή, ταμανιτάρια πρέπει να προψυχθούν στους 2–4 ° C χρησιμοποιώντας ψύξη υπό κενό, υδρόψυξη ή ψύξη βεβιασμένου αέρα. Όταν ταμανιτάρια αποθηκεύονται στους 0-1 ° C και 95% RH, η διάρκεια ζωής μπορεί να φτάσει τις 7–9 ημέρες. Εάν η θερμοκρασία αποθήκευσης αυξηθεί στους 2 ° C, τότε μπορεί η διάρκεια ζωής να μειωθεί κατά το ήμισυ λόγω της ανάπτυξης επιφανειακών αμαυρώσεων, και άλλων εξωτερικών αλλοιώσεων.

## 2.11 Κύριοι τρόποι συντήρησης (και επέκτασης χρόνου ζωής) τωνμανιταριών

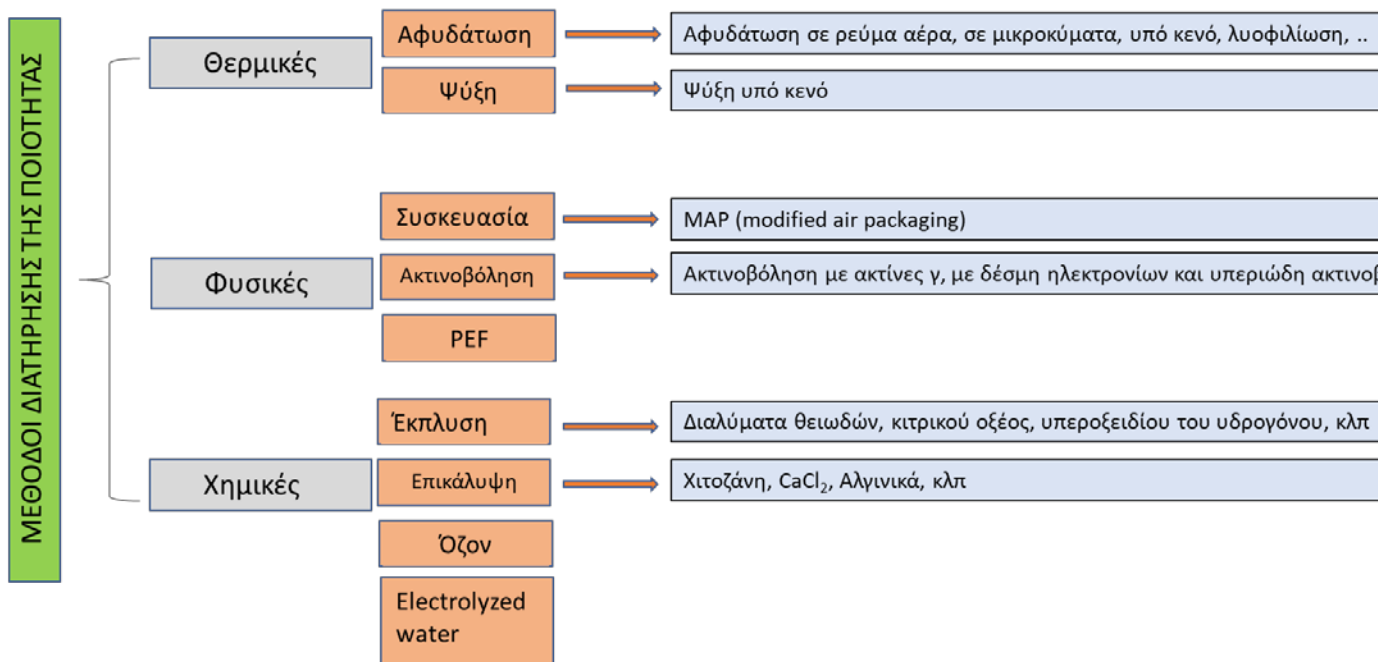
Εφόσον οι παράγοντες που επηρεάζουν κυρίως την αλλοίωση των λευκώνμανιταριών είναι η δραστηριότητα και η ποσότητα των πολυφαινολοξειδασών PPO, των φαινολικών ενώσεων, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, ο ρυθμός αναπνευστικής δραστηριότητας και το περιβάλλον μετά τη συγκομιδή (θερμοκρασία και σχετική υγρασία), οι τρόποι μετασυλλεκτικής μεταχείρισης και επεξεργασίας εστιάζονται στον έλεγχο των παραμέτρων αυτών (Gantner et al., 2017; Ghasemi-Varnamkhasti, Mohammad-Razdari, Yoosefian, & Izadi, 2018; Joshi et al., 2018).



**Εικόνα 6:** Βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του λευκούμανιταριού και εναλλακτικές μέθοδοι συντήρησης (Zhang et al., 2018).

Για το σκοπό αυτό, πολλές τεχνικές είναι διαθέσιμες. Μία από τις πιο κοινές μεθόδους για την παράταση της διάρκειας ζωής των φρέσκωνμανιταριών είναι η πλύση τους με υδατικά

διαλύματα κιτρικού οξέος ή κιτρικών και ασκορβικού οξέος. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία καθορίζει τα συντηρητικά που μπορούν να προστεθούν σε φρέσκα μανιτάρια, συμπεριλαμβανομένων κιτρικού οξέος / κιτρικών και ασκορβικού οξέος. Η προσθήκη κιτρικού οξέος ή ασκορβικού οξέος έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση του pH και την επακόλουθη αναστολή της ενζυμικής δραστηριότητας (Arintanarong, Cheachuminang, Sulansawan, & Thongprasert, 2007). Η ψύξη χρησιμοποιείται ευρέως για την παράταση της διάρκειας ζωής των γεωργικών προϊόντων. Ωστόσο, η ανασταλτική επίδραση της ψύξης έναντι της είναι περιορισμένη (Lin and Sun 2019). Άλλες μέθοδοι όπως η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας και η ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, η επικάλυψη με μεμβράνες, η ακτινοβόληση, η χρήση αναστολέων της τυροσινάσης, η αφυδάτωση, η κατάψυξη κλπ (ως μεμονωμένες τεχνικές ή σε συνδυασμό) έχουν επίσης μελετηθεί από πολλούς ερευνητές με σκοπό να βρεθεί ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να παραταθεί η διάρκεια ζωής του λευκού μανιταριού. Παρακάτω, θα αναφερθούν συνοπτικά κάποιες ενδεικτικές μελέτες σχετικά με τις βασικότερες τεχνικές συντήρησης που εφαρμόζονται για την παράταση του χρόνου ζωής του προϊόντος αυτού. Επίσης, στο σχήμα που ακολουθεί παρατίθενται συνοπτικά οι βασικότερες μέθοδοι συντήρησης του λευκού μανιταριού (Zhang et al., 2018).



**Εικόνα 7:** Ενδεικτικές μέθοδοι συντήρησης της ποιότητας λευκού μανιταριού

### **Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (CA, controlled atmosphere) και Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP, Modified Atmosphere Packaging)**

Η τεχνολογία CA/MA μπορεί να βοηθήσει πολύ στη διατήρηση της ποιότητας των μανιταριών. Ωστόσο, η χρήση πολύ μικρών συγκεντρώσεων O<sub>2</sub> μπορεί να προκαλέσει αντίθετα, αρνητικά αποτελέσματα. Ένας κατάλληλος συνδυασμός αερίων είναι 3-21% O<sub>2</sub> και 5-15% CO<sub>2</sub>. Η τεχνολογία MAP είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την παράταση της διάρκειας ζωής του φρέσκου μανιταριού και έχει συντηρητική επίδραση στο χρώμα επιβραδύνοντας σημαντικά την αναπνοή, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση νερού στην επιφάνεια του προϊόντος, προωθώντας τη μικροβιακή ανάπτυξη (Singh et al., 2010). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα μανιτάρια, καθώς έχουν υψηλούς ρυθμούς αναπνοής.

Ως εκ τούτου απαιτείται μια προσεκτική ανάλυση για τη μέτρηση και τη μοντελοποίηση του ποσοστού απώλειας νερού σεμανιτάρια σε συνθήκες MAP.

### **Χρήση επικαλυπτικών μεμβρανών**

Η επικάλυψη λαχανικών και φρούτων με ημι-διαπερατή μεμβράνη έχει ως αποτέλεσμα της καθυστέρησης της ωρίμανσης και της παράτασης του χρόνου ζωής. Μια κατάλληλη επίστρωση εξαρτάται από τη συμβατότητα του διαλύματος επικάλυψης με τα χαρακτηριστικά του επικαλυμμένου αντικειμένου, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του ιώδους, του πορώδους, της επιφανειακής τάσης, της ικανότητας διαβροχής, την τραχύτητα, μεταξύ πολλών άλλων. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα, τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί αρκετά διαφορετικά υλικά για φιλμ επίστρωσης, με σημαντικά ευεργετικά αποτελέσματα για το χρόνο ζωής τωνμανιταριών.

### **Έκπλυση (washing)**

Η έκπλυσημανιταριών με διάφορα διαλύματα έχει τελευταία ευρεία εφαρμογή ως τρόπος αφαίρεσης περιβλήματος σωματιδίων εδάφους και για την εφαρμογή αναστολέων μαυρίσματος και μικροβίων. Πριν από το 1986, χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα θειώδους, ιδιαίτερα μεταδιθειώδες νατρίου με σκοπό την απομάκρυνση ανεπιθύμητων επιφανειακών ακαθαρσιών και για την ενίσχυση της λευκότητας τωνμανιταριών. Η επεξεργασία με θειώδες άλας έδωσεμανιτάρια εξαιρετικής αρχικής λευκότητας και συνολικής ποιότητα, χωρίς όμως να αναστείλει την ανάπτυξη της βακτηριακής αλλοίωσης. Το 1986 η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων απαγόρευσε την εφαρμογή των θειωδών συστατικών στα φρέσκαμανιτάρια λόγω σοβαρής αλλεργίας μεταξύ ορισμένων ασθματικών. Μετά την απαγόρευση σε θειώδη συστατικά για το πλύσιμο φρέσκωνμανιταριών, πολλά ήταν τα εναλλακτικά διαλύματα που προτάθηκαν.

### **Αποθήκευση υπό ψύξη/ ψύξη υπό κενό**

Ο βαθμός λευκότητας είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ποιότητας για τα λευκάμανιτάρια. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σχετικά με τις επιπτώσεις της αποθήκευσης ψύξης (1° C) σε λευκότητα τωνμανιταριών και έδειξε ότι και ο χρόνος τοποθέτησης τωνμανιταριών σε ψύξη μετά τη συγκομιδή και ο χρόνος απομάκρυνσης έχουν συνεργιστικά επίδραση στη λευκότητα. Γενικά, όσο περισσότερος ο χρόνος ψύξης σε μια δεδομένη περίοδο ημερών, τόσο πιο λευκό είναι το προϊόν, κυρίως λόγω ελάττωσης της δράσης βακτηρίων, η οποία με τη σειρά της είχε επίδραση στη λευκότητα (τιμή L στην κλίμακα χρώματος CIE Lab, L,a,b) αποθηκευμένωνμανιταριών σε συσκευασίες με αυξημένη διαπερατότητα. Η ψύξη υπό κενό είναι μια τεχνική ταχείας ψύξης που χρησιμοποιείται εκτενώς για την ψύξη ορισμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων. Επιτυγχάνεται με την εξάτμιση της υγρασίας από το προϊόν, μειώνοντας την πίεση ώστε το σημείου βρασμού του νερού να μειωθεί σημαντικά, σε χαμηλή θερμοκρασία. Η ψύξη υπό κενό είναι γρήγορη και ψύχει ταμανιτάρια ομοιόμορφα, αλλά το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας είναι υψηλό.

### **Άλλες τεχνικές**

Αυτές περιλαμβάνουν:

A) τη χρήση αναστολέων της τυροσινάσης, όπως π.χ. του ασκορβικού οξέος, του 3-(2,4-dihydroxyphenyl) propionic acid), (DPP acid), κυστεΐνης, για έλεγχο της ενζυμικής αμαύρωσης  
B) τη χρήση ουσιών για τη μείωση της σχετικής υγρασίας εντός της συσκευασίας (humectants) όπως η σορβιτόλη, το NaCl, η προπυλενογλυκόλη, η αιθανόλη κλπ.



## Κεφάλαιο 3. Ωσμωτική Αφυδάτωση

### 3.1. Εισαγωγή

Η αφυδάτωση είναι μία διεργασία που εξασφαλίζει διατηρησιμότητα για μεγάλο χρονικό διάστημα σε τρόφιμα όπως κρέας, ψάρι, φρούτα και λαχανικά και σχετίζεται με την απομάκρυνση μεγάλου ποσοστού του περιεχόμενου νερού με σκοπό την αποφυγή της ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου μέσω κυρίως της παρεμπόδισης πιθανής μικροβιακής ανάπτυξης. Πρόκειται για μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης που εφάρμοξε ο άνθρωπος στα τρόφιμα από τα αρχαία κιόλας χρόνια με χαρακτηριστική την ξήρανση τροφίμων στον ήλιο. Στις μέρες μας, η αφυδάτωση πραγματοποιείται κυρίως με χρήση θερμότητας για την απομάκρυνση του νερού και ορισμένες φορές με χρήση κατάψυξης. Πρόκειται βέβαια για μεθόδους που απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό που έχει μεγάλο κόστος και απαιτεί και κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας. Επίσης, οι παραδοσιακές αυτές τεχνικές έχουν πολλές φορές αρνητικό αντίκτυπο στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, όπως στην υφή ή το χρώμα. Για αυτό το λόγο αλλά και επειδή υπάρχει μονίμως ζήτηση στην αγορά για προϊόντα υψηλής ποιότητας, οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και μέγιστης θρεπτικής αξίας αναζητούνται νέες διεργασίες επεξεργασίας που να ελαχιστοποιούν αυτές τις ανεπιθύμητες μεταβολές.

Μία τέτοια διεργασία, με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, μια εναλλακτική, σύγχρονη μέθοδος αφυδάτωσης κατά την οποία η αφαίρεση του νερού βασίζεται στην αρχή της ώσμωσης και δεν απαιτείται χρήση θερμότητας, καθιστώντας τη μια ενεργειακά συμφέρουσα λύση. Στην ωσμωτική αφυδάτωση, το νερό που περιέχεται στο τρόφιμο απομακρύνεται μέσω της εμφάνισής του σε ένα υπερτονικό μέσο, ένα διάλυμα δηλαδή με μεγάλη ωσμωτική πίεση, συνήθως ένα υψηλής συγκέντρωσης διάλυμα σακχάρου ή άλατος (Δερμεσονλούογλου, 2008), ή συνδυασμού αυτών (tertiary solutions). Αφού το νερό είναι ο κύριος παράγοντας για τη μικροβιακή και χημική σταθερότητα των τροφίμων, βασικός σκοπός της μεθόδου είναι να μειώσει την ενεργότητα νερού (water activity,  $a_w$ ) για να περιοριστεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η δράση ενζύμων με αποτέλεσμα να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του τροφίμου.



Πρόκειται για μια επιτυχημένη, ήπια θερμική μέθοδο που έχει εφαρμοστεί πολλές φορές κυρίως σε φυτικούς ιστούς, αλλά και σε ζωικούς όπως κρέας ή ψάρι, αλλά και άλλα τρόφιμα όπως σε τυρί. Μπορεί η ωσμωτική αφυδάτωση να είναι η κύρια μέθοδος της επεξεργασίας του τροφίμου, αλλά τις περισσότερες φορές συνδυάζεται και με άλλες μεθόδους για ένα καλύτερο αποτέλεσμα όπως με ξήρανση ή κατάψυξη. Αποτελεί δηλαδή μια «προκατεργασία» για μία επόμενη διεργασία που συνδυαστικά θα αποτελέσουν την ολοκληρωμένη μέθοδο συντήρησης του εν λόγω τροφίμου.

### 3.2 Μηχανισμός Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

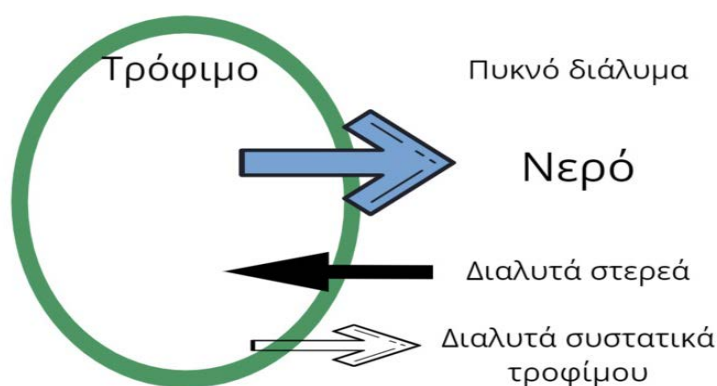
Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διαδικασία μεταφοράς μάζας που πραγματοποιείται όταν ένα τρόφιμο υψηλής περιεκτικότητας σε νερό εμβαπτίζεται ολόκληρο ή τεμαχισμένο σε υπερτονικό διάλυμα, δηλαδή διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση σε σάκχαρα ή αλάτι. Η κινητήρια δύναμη που προκαλεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι η διαφορά ωσμωτικής πίεσης μεταξύ του τροφίμου και του υπέρτονου διαλύματος. Αυτή η διαφορά πίεσης προκαλεί τα εξής φαινόμενα μεταφοράς μάζας:

- 1) Διάχυση νερού από το εσωτερικό του τροφίμου προς το ωσμωτικό διάλυμα αραιώνοντας το
- 2) Εισροή στερεών συστατικών από το ωσμωτικό διάλυμα στο εσωτερικό του τροφίμου εμπλουτίζοντας τη σύστασή του
- 3) Εκροή διαλυτών ουσιών, όπως οργανικά οξέα, μέταλλα, βιταμίνες, αρωματικές ουσίες και χρωστικές, από το τρόφιμο προς το υπερτονικό διάλυμα. Αν και αυτή η μεταφορά μαζών είναι αμελητέα ποσοτικά έχει πολύ σημαντικό ρόλο στη σύνθεση του τελικού προϊόντος. (Phisut 2012, Tortoe 2010)

Άρα αυτή η διαφορά πίεσης προκαλεί δύο ροές αντίθετης κατεύθυνσης ανάμεσα σε τρόφιμο και ωσμωτικό διάλυμα. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή αφυδάτωση, η μετατροπή στο τρόφιμο είναι διπλή αφού έχουμε αποβολή υγρασίας σε συνδυασμό με πρόσληψη συστατικών που θα οδηγήσουν σε ένα τρόφιμο με νέο, επιλεκτικά τροποποιημένο οργανοληπτικό προφίλ (Torreggiani, 1995).

Γενικά η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία σχετικά αργή μέθοδος που εξαρτάται κυρίως από

τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και της αρχιτεκτονικής των κυττάρων (Amami et al 2007). Η υγρασία αποβάλλεται μέσω τριχοειδούς ροής και διάχυσης, ενώ η μεταφορά διαλύτη και διαλυμένων ουσιών γίνεται μόνο με διάχυση. Είναι αναμενόμενο όλες αυτές οι ανταλλαγές μαζών μεταξύ τροφίμου και διαλύματος να επηρεάσουν τη συνολική ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων (Shi, 2008). Πιο συγκεκριμένα, σε ότι αφορά στους φυτικούς ιστούς, η ημιπερατή τους φύση και το χαμηλό μοριακό βάρος των μορίων του νερού επιτρέπουν την κίνηση νερού και στερεών με αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία έως και 50% του αρχικού βάρους φρούτων και λαχανικών (Yetenayet & Hosahalli, 2010).



**Εικόνα 8.** Φαινόμενα μεταφοράς μάζας που συμβαίνουν κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Η απώλεια υγρασίας από το τρόφιμο συμβαίνει με γρηγορότερο ρυθμό τις πρώτες ώρες της ώσμωσης (1-2 ώρες) και μετά ο ρυθμός μειώνεται σταδιακά μέχρι να σταματήσει (περίπου στις 6 ώρες). Η εισροή των στερεών συστατικών στο τρόφιμο δεν είναι έντονη στην αρχή της διεργασίας αλλά όταν ο ρυθμός της απώλειας νερού αρχίσει να μειώνεται τότε έχουμε εντονότερη εισροή στερεών συστατικών. (Phisut, 2012; Raoult-Wack, 1994). Βέβαια σε διεργασίες μεγάλης διάρκειας πρέπει να ελέγχεται η πρόσληψη στερεών και ορισμένες φορές να περιορίζεται για να μην επηρεάσει αρνητικά το τελικό προϊόν, ως προς τον οργανοληπτικό του χαρακτήρα. (Fathi et al., 2011).

Όταν το τρόφιμο βυθιστεί στο υπερτονικό διάλυμα πρώτα θα αρχίσουν να χάνουν νερό τα κύτταρα που βρίσκονται στο εξωτερικό στρώμα υλικού του τροφίμου λόγω της διαφοράς συγκεντρώσεων και θα αρχίσουν να συρρικνώνονται. Μετά την απώλεια νερού των κυττάρων του πρώτου στρώματος δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού του νερού μεταξύ

αυτών και των κυττάρων του δεύτερου στρώματος, με τα δεύτερα να δίνουν το νερό που περιέχουν και με τη σειρά τους να συρρικνώνονται. Αυτή η διαδικασία μεταφοράς μαζών και συρρίκνωσης των ιστών εκτείνεται μέχρι το κέντρο του τροφίμου όσο συνεχίζεται χρονικά η διεργασία και τελευταία τα κύτταρα που βρίσκονται στο κέντρο θα χάσουν νερό και η διαδικασία μεταφοράς τείνει να έρθει σε ισορροπία. Η συρρίκνωση των ιστών και η μεταφορά μάζας συμβαίνουν ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Phisut, 2012; Shi & Xue, 2009).

### 3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση

Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφορούν στα χαρακτηριστικά του τροφίμου αλλά και του ωσμωτικού μέσου, τις συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης που εφαρμόζονται (όπως θερμοκρασία, συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος, χρόνος διεργασίας, κλπ), ή την ταυτόχρονη εφαρμογή άλλων διεργασιών και θα αναλυθούν με συντομία στη συνέχεια.

#### **Ωσμωτικό μέσο**

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την ωσμωτική αφυδάτωση είναι το είδος του ωσμωτικού μέσου που θα χρησιμοποιηθεί. Τις περισσότερες φορές στα ωσμωτικά διαλύματα χρησιμοποιείται κάποιο άλας ή κάποιο σάκχαρο με πιο συνηθισμένα να είναι το χλωριούχο νάτριο και η σακχαρόζη αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να εξετάζεται κάθε φορά το κατά πόσο είναι συμβατό το τρόφιμο με το μέσο που θα χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε το τελικό προϊόν να έχει τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Γενικά, δεν είναι επιθυμητό ένα τελικό αποτέλεσμα με έντονη γλυκύτητα ή έντονη αλμυρή γεύση, για αυτό το λόγο συνήθως ωσμωτικά διαλύματα με κάποιο σάκχαρο, όπως τη σακχαρόζη χρησιμοποιούνται για φρούτο, ενώ σε λαχανικά, κρέας και ιχθυρά συνήθως επιλέγεται το χλωριούχο νάτριο. Γλυκόζη, φρουκτόζη, γλυκερόλη, μαλτοδεξτρίνες, σορβιτόλη, σιρόπι καλαμποκιού είναι κάποια από τα ωσμωτικά μέσα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες, είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διεργασία είναι οι φυσικοχημικές ιδιότητες, το

μοριακό βάρος, η διαλυτότητα και η ιοντική κατάσταση της ουσίας που χρησιμοποιείται (Lazarides, 1994). Κάθε διαφορετικό ωσμωτικό μέσο θα επηρεάσει διαφορετικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και για να θεωρηθεί επιτυχημένη η επιλογή του θα πρέπει να δίνει υψηλό ρυθμό απώλειας νερού, χαμηλή τελική τιμή ενεργότητας νερού, ενώ συχνά σημαντικό κριτήριο αποτελεί και ο ρυθμός εισχώρησης στερεών. Πολλές φορές είναι επιθυμητό να προσδίδει στο τρόφιμο νέες λειτουργικές και διατροφικές ιδιότητες. Σημαντικό είναι, επειδή η περιεκτικότητα σε σάκχαρα στα ωσμωτικά μέσα είναι μεγάλη, να μην προσδίδονται στο τελικό προϊόν επιπλέον θερμίδες.

Σε ότι αφορά στο μοριακό βάρος των ουσιών, τα ωσμωτικά μέσα με υψηλό μοριακό βάρος προσδίδουν εντονότερο ρυθμό απώλειας νερού και μειωμένη πρόσληψη στερεών ενώ μέσα με χαμηλό μοριακό βάρος ευνοούν την εντονότερη πρόσληψη στερεών. Αυτό συμβαίνει γιατί ουσίες με μικρό μοριακό βάρος μπορούν ευκολότερα να διεισδύσουν μέσα στα κύτταρα σε σύγκριση με ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος (Phisut, 2012).

Το pH παίζει και αυτό σημαντικό ρόλο στη διεργασία καθώς ωσμωτικά διαλύματα με χαμηλό pH αυξάνουν το ρυθμό απώλειας νερού.

Για να έχουμε μία πιο αποτελεσματική διεργασία πολλές φορές γίνεται συνδυασμός δύο ή και περισσότερων υλικών που χρησιμοποιούνται στο ωσμωτικό διάλυμα. Όταν χρειαζόμαστε ουσίες με μικρό μοριακό βάρος για να εμπλουτίσουμε ένα τρόφιμο ενώ ταυτόχρονα ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος για να έχουμε την επιθυμητή απώλεια νερού είναι χρήσιμος ένας τέτοιος συνδυασμός. Πολύ σημαντικός παράγοντας στην επιλογή είναι και το κόστος των υλικών και αυτός είναι ένας ακόμη λόγος που πολλές φορές γίνεται συνδυασμός και δοκιμάζονται διαφορετικές περιεκτικότητες με αποτέλεσμα να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό το κόστος.

Σημαντικά είναι τα ευρήματα μελετών με μεικτά ωσμωτικά διαλύματα άλατος και σακχαρόζης, καθώς παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μεγαλύτερη απώλεια νερού από ότι σε διαλύματα αποκλειστικά σακχαρόζης. Γενικά, είναι πολύ σημαντική η δράση του χλωριούχου νατρίου στην ώσμωση λόγω της μεγάλης ικανότητας που έχει να μειώνει την ενεργότητα του νερού. Μελέτες με μεικτά διαλύματα άλατος-σακχαρόζης δείξαν ακόμα ότι τα σάκχαρα συγκεντρώνονται σε ένα λεπτό στρώμα κάτω από την επιφάνεια του τροφίμου κάνοντας πιο συμπαγείς τους ιστούς και εμποδίζοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, ενώ το άλας διείσδυσε σε μεγαλύτερο βάθος και η παρουσία του εμπόδιζε το σχηματισμό του συμπαγούς ιστού στο επιφανειακό στρώμα επιτρέποντας μεγαλύτερο

ρυθμό απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών (Lenart & Flink 1984a). Μία μικρή συνήθως προσθήκη άλατος σε διάλυμα κάποιου σακχάρου θα αυξήσει την ικανότητα αφυδάτωσης της ωσμωτικής διεργασίας χάρη στο μικρό του μοριακό βάρος και την ικανότητα του να μειώνει την ενεργότητα ύδατος (Azoubel & Murr, 2004). Όπως προαναφέρθηκε, αποφεύγεται η χρήση μεγάλης ποσότητας άλατος για οργανοληπτικούς λόγους.

### ***Συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος***

Η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου έχει σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η αύξηση αυτής της συγκέντρωσης οδηγεί σε επιτάχυνση των ρυθμών μεταφοράς μάζας και τελικά αύξηση της απώλειας νερού αλλά και της πρόσληψης στερεών με πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί να καταλήγουν σε αυτό το συμπέρασμα. Συγκριτικά είναι μεγαλύτερη η αύξηση απώλειας νερού του τροφίμου από την αντίστοιχη αύξηση της πρόσληψης στερεών με αποτέλεσμα ωσμωτικά διαλύματα μεγαλύτερων συγκεντρώσεων να επιφέρουν μεγαλύτερη αφυδάτωση στο τρόφιμο (Δερμεσονλούογλου, 2008).

### ***Θερμοκρασία διεργασίας***

Η θερμοκρασία αποτελεί κατά πάσα πιθανότητα το σημαντικότερο παράγοντα που επιδρά στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει την απώλεια νερού, ενώ η πρόσληψη στερεών δεν επηρεάζεται στον ίδιο βαθμό (Khan, 2012; Tortoe, 2010). Αυτό οφείλεται στη διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών και στις καλύτερες ιδιότητες μεταφοράς μάζας νερού λόγω του χαμηλότερου ιξώδους του ωσμωτικού μέσου (Ishfaq et al., 2016). Σε ότι αφορά στην πρόσληψη στερεών, μελέτες έχουν δείξει ότι αυξάνεται σε θερμοκρασίες πάνω από 50°C λόγω της παραμόρφωσης της κυτταρικής μεμβράνης και αύξησης της διαπερατότητάς της. Όμως σε αυξημένες θερμοκρασίες παράλληλα με την αύξηση της πρόσληψης στερεών υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα των τροφίμων (Torreggiani, 1995). Βέβαια η επιλογή της βέλτιστης θερμοκρασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης γίνεται κυρίως με βασικό γνώμονα το είδος του τροφίμου (Biswal et al., 1991).

### ***Χρόνος διεργασίας***

Η αύξηση του χρόνου της εμβάπτισης οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια νερού κατά τη διάρκεια της διεργασίας (Isprig & Togrul, 2009). Η ανταλλαγή μαζών γίνεται γρηγορότερα τις πρώτες δυο ώρες και ακολουθεί μια μείωση στο ρυθμό αφυδάτωσης αν συνεχιστεί επιπλέον η επεξεργασία (Ramaswamy, 2005). Επομένως η αρχική περίοδος της ώσμωσης είναι η πιο σημαντική καθώς υπάρχουν και μελέτες που δείχνουν ότι μετά από κάποιο διάστημα τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι σχεδόν αμελητέα (Kowalska & Lenart, 2001). Η αλήθεια είναι ότι η ωσμωτική αφυδάτωση θα συνεχίζεται μέχρι να έρθει ισορροπία, δηλαδή μέχρι η ενεργότητα του διαλύματος να είναι ίδια με αυτήν του τροφίμου, κάτι τέτοιο όμως δεν είναι επιθυμητό γιατί μία τέτοια μακροχρόνια ώσμωση θα προκαλέσει σημαντικές αλλοιώσεις στην ποιότητα του τροφίμου. Για αυτό το λόγο η διεργασία διακόπτεται πολύ πριν το χρόνο της ισορροπίας.

### ***Ανάδευση ωσμωτικού διαλύματος***

Η ωσμωτική αφυδάτωση πολλές φορές είναι πιο αποδοτική με χρήση ανάδευσης, καθώς το τρόφιμο θα έχει καλύτερη και συνεχή επαφή με το διάλυμα. Όμως η ανάδευση δεν ενισχύει πάντα τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε ικανοποιητικό βαθμό και δεν χρησιμοποιείται επειδή ο εξοπλισμός που απαιτείται θα αυξήσει το συνολικό κόστος της διεργασίας. Άρα η ωσμωτική αφυδάτωση θα είναι ταχύτερη αν γίνει υπό ανάδευση αλλά η διαφορά μπορεί να είναι πολύ μικρή και να μην συμφέρει οικονομικά να εφαρμοστεί (Falade & Igbeka, 2007). Άλλο ένα μειονέκτημα της ανάδευσης είναι ότι μπορεί να προκληθούν «τραυματισμοί» στο τρόφιμο.

### ***Αναλογία τροφίμου με ωσμωτικό μέσο***

Στις περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούνται αναλογίες διαλύματος : τρόφιμο σχετικά μικρές όπως 2:1, 3:1 ή 4:1. Η πρόσληψη στερεών και η αποβολή υγρασίας αυξάνονται με αύξηση της αναλογίας ωσμωτικού διαλύματος προς τρόφιμο αλλά μεγαλύτερες αναλογίες εκτός από ότι θα αυξήσουν το κόστος της διεργασίας, θα διογκώσουν το πρόβλημα της

διαχείρισης του ωσμωτικού διαλύματος που θα αναφερθεί και στη συνέχεια. Συνεπώς, αν και σε εργαστηριακές μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα και αναλογίες 50:1, με βασικότερο κίνητρο την αποφυγή αραίωσης του ωσμωτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της ώσμωσης, κάτι τέτοιο προφανώς δε θα ήταν εφικτό σε βιομηχανική κλίμακα.

### ***Χαρακτηριστικά τροφίμου/δείγματος***

Εκτός από τις συνθήκες της διεργασίας και το ωσμωτικό διάλυμα, πολύ σημαντικό ρόλο στη ωσμωτική αφυδάτωση έχει και το ίδιο το τρόφιμο. Η χημική σύσταση, το είδος, η ποικιλία, ακόμα και ο βαθμός ωρίμανσης μπορούν να επηρεάσουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε μια ωσμωτική διεργασία (Lazarides, 1994). Παραδείγματος χάρη, ένα φρούτο της ίδιας ποικιλίας από τον ίδιο παραγωγό μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα ώσμωσης λόγω της διαφορετικής συνεκτικότητας του φυτικού ιστού, επειδή βρισκόταν σε πιο προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν το μέγεθος και το σχήμα του τροφίμου στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας καθώς τρόφιμα με μεγαλύτερη επιφάνεια θα έχουν μεγαλύτερη αποβολή νερού και πρόσληψη στερεών. Όταν κομμάτια του ίδιου τροφίμου που επεξεργάζονται έχουν διαφορετικό σχήμα ή διαστάσεις είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν αρκετά μετά την ώσμωση. Συνήθως για τα δείγματα επιλέγεται να κοπούν σε κύβους ή δακτύλιους ίδιου πάχους, προκειμένου μεγαλύτερο ποσοστό επιφάνειας να έρχεται σε επαφή με τον ωσμωτικό παράγοντα.

### ***Προκατεργασίες (διεργασίες που προηγούνται της ώσμωσης)***

Η επεξεργασία που γίνεται στο τρόφιμο πριν την ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κινητική της. Για να αυξηθούν λοιπόν οι ρυθμοί μεταφοράς μάζας και να επιταχυνθεί η διεργασία, ή για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ποιοτικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως το ζεμάτισμα, η θείωση, η οξίνιση, η εφαρμογή υψηλών υδροστατικών πιέσεων, η κατάψυξη, κλπ. Οι περισσότερες προκατεργασίες έχουν να κάνουν με την τροποποίηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης και μείωση της σκληρότητας των ιστών. Επίσης πολλές από αυτές τις τεχνικές χρησιμοποιούνται γιατί διατηρούν σε μεγαλύτερο βαθμό επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν. Τρόφιμα που εμβαπτίστηκαν σε όξινα

ή αλκαλικά διαλύματα πριν την ώσμωση διατήρησαν το χρώμα τους. Η ενζυμική αμαύρωση φρούτων και λαχανικών παρεμποδίστηκε με εμβάπτιση τους σε διάλυμα κιτρικού οξέος 1.0% πριν την ωσμωτική αφυδάτωση (Sunjka & Raghavan, 2004). Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με το ζεμάτισμα το οποίο αδρανοποιεί τα ένζυμα με αποτέλεσμα να διατηρείται το χρώμα και οι πτητικές ουσίες σε μεγαλύτερο βαθμό σε διάφορα φρούτα και λαχανικά.

### **3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης**

Η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα που την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική για τη βιομηχανία τροφίμων. Τα βασικότερα από αυτά αναλύονται στη συνέχεια.

#### ***Βελτίωση της ποιότητας του τροφίμου***

Το βασικό πλεονέκτημα της διεργασίας είναι ότι αναβαθμίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και μειώνει τις αλλοιώσεις που προκαλούν άλλες διεργασίες, οπότε έχουμε ένα τρόφιμο με αυξημένη διάρκεια ζωής που διατηρεί τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι μία σχετικά ήπια διεργασία στη οποία χρησιμοποιούνται χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται οι βλάβες στις μεμβράνες των κυττάρων λόγω θερμότητας που συμβαίνουν σε άλλες επεξεργασίες. Επίσης αποφεύγεται η ενζυμική αμαύρωση λόγω των διαλυμάτων με υψηλή συγκέντρωση σακχάρων που χρησιμοποιούνται. Έτσι φρούτα και λαχανικά διατηρούν το χρώμα τους όπως επίσης διατηρούν και διάφορες πτητικές και αρωματικές ουσίες. Η γεύση επίσης είναι βελτιωμένη λόγω της γλυκύτητας που έχει προσδώσει το ωσμωτικό μέσο κάνοντας τα προϊόντα πιο ελκυστικά από άλλα αφυδατωμένα προϊόντα. Σε πολλές μελέτες έχει αναφερθεί ότι είναι σημαντικά βελτιωμένα και η υφή του τροφίμου. Εξίσου σημαντικό με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά είναι και η αναβάθμιση της θρεπτικής αξίας του τροφίμου μέσω της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της πρόσληψης στερεών από το τρόφιμο αφού μπορούμε να το εμπλουτίσουμε επιλεκτικά και στοχευμένα με διάφορες βιοδραστικές ουσίες όπως βιταμίνες, αντιοξειδωτικές ενώσεις,



ιχνοστοιχεία κλπ. Ένας ακόμα λόγος που λαμβάνουμε ένα τελικό προϊόν με υψηλή θρεπτική αξία είναι ότι δεν έχουμε τόσο μεγάλη απώλεια συστατικών όπως η βιταμίνη C, κάτι που δε συμβαίνει σε άλλες διεργασίες στις οποίες τέτοιες ουσίες χάνονται σε μεγάλο βαθμό.

### ***Εξοικονόμηση ενέργειας και κόστος***

Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει σχετικά χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, αφού πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους όπως η ξήρανση που είναι από τις πιο απαιτητικές ενεργειακά. Βέβαια η ωσμωτική αφυδάτωση δεν παράγει προϊόντα πολύ χαμηλής υγρασίας με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής για αυτό και συνήθως συνδυάζεται με άλλες μεθόδους επεξεργασίας. Σε τέτοιες λοιπόν περιπτώσεις μειώνει την κατανάλωση ενέργειας της συνολικής διεργασίας όπως και το κόστος του τελικού προϊόντος (Yetenayet & Hosahalli, 2010). Επίσης πρόκειται για μια αρκετά οικονομική μέθοδος αφού δεν απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό.

### ***Εξάλειψη χημικής επεξεργασίας***

Δεν κρίνεται απαραίτητη η χρήση χημικής επεξεργασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση για την αναστολή της ενζυμικής και οξειδωτικής αμαύρωσης. Τα σάκχαρα του ωσμωτικού μέσου παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναστολή της δράσης της πολυφαινολοξειδάσης που είναι το ένζυμο που καταλύει την ενζυμική αμαύρωση σε φρούτα και λαχανικά (Tortoe, 2010). Επιπλέον επειδή το τρόφιμο είναι μόνιμως εμβαπτισμένο στο μέσο κατά τη διάρκεια της διεργασίας, οι ιστοί δεν εκτίθενται στο οξυγόνο. Συνεπώς δεν κρίνεται απαραίτητη η προσθήκη εξειδικευμένων αντιοξειδωτικών μέσων, είτε τεχνητών, είτε φυσικών (Yetenayet & Hosahalli, 2010).

### ***Συσκευασία και αποθήκευση***

Χάρη στο μειωμένο βάρος και μέγεθος των προϊόντων ωσμωτικής αφυδάτωσης μπορεί να προκύψει μία σημαντική μείωση στο κόστος της συσκευασίας και της διανομής που οδηγεί και σε ευκολότερη διαχείριση και μεταφορά (Biswal et al., 1991). Τα περισσότερα

τρόφιμα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση παραμένουν σταθερά σε θερμοκρασία δωματίου για διάστημα ίσο με έξι μήνες έως και ένα χρόνο.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα της, η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει και κάποιες τεχνολογικές αδυναμίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να αποκτήσει περισσότερες εφαρμογές στη βιομηχανία. Οι σημαντικότερες αναλύονται παρακάτω.

### ***Ποιότητα τελικού προϊόντος***

Αρνητικές μεταβολές στην υφή του τελικού προϊόντος είναι πολύ συνηθισμένες όπως και ανεπιθύμητη συρρίκνωση του προϊόντος με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το οργανοληπτικό του προφίλ. Μηχανικοί τραυματισμοί είναι επίσης πολύ συχνό ειδικά όταν στην ώσμωση εφαρμόζεται ανάδευση. Η θρεπτική αξία επίσης επηρεάζεται πολλές φορές λόγω πρόσληψης ανεπιθύμητων θερμίδων, ή απώλειας μέρους των βιταμινών όπως το ασκορβικό οξύ (Lewicki & Lenart, 2006). Πολύ βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η τροποποίηση στη γεύση του τροφίμου, καθώς ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται μπορεί να αυξηθεί αισθητά σε ανεπιθύμητο σημείο η γλυκύτητα ή η αλατότητα.

### ***Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος***

Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που έχουν να διαχειριστούν οι έρευνες για την ωσμωτική αφυδάτωση προκειμένου να καθιερωθεί η διεργασία στη βιομηχανία. Μετά το πέρας της διεργασίας η απομάκρυνση του νερού που έχει υποστεί το τρόφιμο αραιώνει το διάλυμα. Ακόμα και να αφαιρεθεί το νερό όμως το διάλυμα δε θα είναι το ίδιο. Η έκπλυση των διαλυτών στερεών συστατικών από το τρόφιμο στο διάλυμα το τροποποιούν σε σημείο ικανό να επηρεάσει σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας της μετέπειτα ώσμωσης. Επίσης συστατικά που θα έχουν μεταφερθεί από το τρόφιμο όπως αρωματικά θα προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές στις αισθητηριακές ιδιότητες, κυρίως γεύση και χρώμα, περιορίζοντας τη χρήση του διαλύματος για επεξεργασία σε άλλο τρόφιμο. Δεν είναι αμελητέο και το γεγονός ότι η αύξηση του οργανικού περιεχομένου καθιστά το ωσμωτικό διάλυμα ευνοϊκό υπόστρωμα για μικροβιακή ανάπτυξη (Dalla Rosa & Giroux, 2001). Τα

προβλήματα λοιπόν που έχει να διαχειριστεί η βιομηχανία είναι η συγκέντρωση και η σύσταση του διαλύματος, η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίησή του, η προσθήκη διαλυτών στερεών και η διαχείριση των αποβλήτων. Δεν είναι εφικτή η δημιουργία νέων διαλυμάτων για κάθε νέα διεργασία για οικονομικούς λόγους οπότε είναι απαραίτητη η μελέτη της επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος όσο το δυνατόν περισσότερες διαδοχικές φορές.

Για να επανέλθει το διάλυμα στην αρχική του κατάσταση και να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί πρέπει αρχικά να καθαριστεί το διάλυμα από ιστούς του τροφίμου με διήθηση. Έπειτα πρέπει να γίνει επαναφορά της αρχικής σύστασης του διαλύματος είτε με εξάτμιση είτε με προσθήκη στερεών διαλυτών ουσιών ή προσθήκη συμπυκνωμένου διαλύματος, είτε με συμπύκνωση με χρήση μεμβρανών. Η ανακύκλωση διαλυμάτων με ωσμωτικό μέσο ενός συστατικού είναι ευκολότερη από μικτά μέσα με περισσότερα συστατικά. Το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να επανέλθει με αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση στην αρχική του κατάσταση (Tortoe, 2010).

Είναι προφανές ότι όσες περισσότερες φορές χρησιμοποιηθεί το διάλυμα αυξάνεται ο κίνδυνος μικροβιακής ανάπτυξης. Για αυτό το λόγο πρέπει να γίνει μικροβιακή εξυγίανση του διαλύματος και συχνά εφαρμόζεται μία ήπια παστερίωση. Όταν εξαντλήσουμε τη δυνατότητα περαιτέρω ανακύκλωσης και οι μέθοδοι ανάκτησης δεν είναι πλέον εφαρμόσιμες το διάλυμα πρέπει να απορριφθεί και να απομακρυνθεί ως υγρό απόβλητο (wastewater). Εξαιτίας όμως της υψηλής τιμής BOD<sub>5</sub> (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, που μετράται σε διάστημα 5 ημερών) λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε οργανικά συστατικά δεν επιτρέπεται από τη νομοθεσία να απομακρυνθεί ως απόβλητο, απευθείας (χωρίς την κατάλληλη επεξεργασία) σε ευαίσθητους φυσικούς αποδέκτες. Πρέπει πρώτα να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία εξυγίανσης για να μειωθεί ο αριθμός των βακτηρίων και το μετρούμενο BOD<sub>5</sub> στα αποδεκτά όρια, ανάλογα με το είδος του φυσικού αποδέκτη (Δερμεσονλούογλου, 2008).

Είναι ακόμα πιθανό, εφόσον γίνει η κατάλληλη επεξεργασία, το διάλυμα μετά από ωσμωτική αφυδάτωση σε φρούτα να χρησιμοποιηθεί σε μαρμελάδες, σε σιρόπια για κονσέρβες, να αναμιχθεί με χυμούς φρούτων ή αναψυκτικά, ως πρόσθετο σε τρόφιμα ή φάρμακα, ή σε ζωοτροφές (Ishfaq et al., 2016).

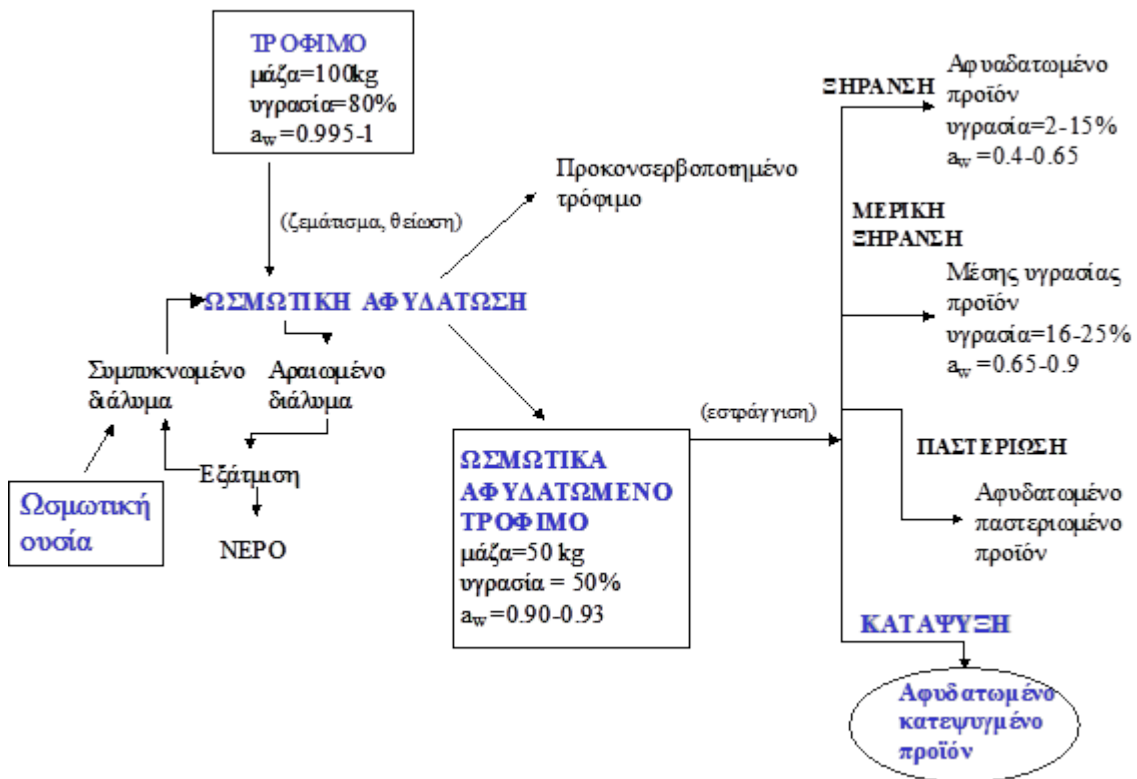
### **3.5. Εφαρμογές της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία και διαθέσιμα προϊόντα**

Η αλήθεια είναι πως αν και η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια σε ερευνητικό επίπεδο, οι εφαρμογές της στη βιομηχανία είναι αρκετά περιορισμένες. Αυτό κυρίως οφείλεται στα προβλήματα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους. Πρόκειται πάντως για μια διεργασία που στοχεύει στην ανάπτυξη νέων προϊόντων με βελτιωμένα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Προσδίδει σταθερότητα στα τρόφιμα, αλλά είναι μία ήπια επεξεργασία και για αυτό το λόγο υπάρχει μεγάλη αισθητηριακή ομοιότητα ανάμεσα σε μερικώς αφυδατωμένα και φυσικά προϊόντα (Phisut, 2012; Tortoe, 2010). Παράγονται δηλαδή προϊόντα ενδιάμεσης υγρασίας (IMF, Intermediate Moisture Foods) στα οποία έχουν ανασταλεί σε μεγάλο βαθμό οι περισσότερες χημικές, φυσικές, ή μικροβιολογικές δραστηριότητες που είναι ικανές να τα αλλοιώσουν. Είναι προϊόντα έτοιμα για κατανάλωση και χρησιμοποιούνται συνήθως στη γαλακτοβιομηχανία, τη βιομηχανία αρτοσκευασμάτων ή τη βιομηχανία ζαχαρωτών, γλυκισμάτων ή «παστών» προϊόντων. Τέτοια λοιπόν μερικώς αφυδατωμένα τρόφιμα μπορούν να συνοδεύουν προϊόντα όπως το γιαούρτι, το παγωτό, άλλα επιδόρπια ή προϊόντα ζαχαροπλαστικής, ή στη παραγωγή μαρμελάδων. Πιο έντονα αφυδατωμένα προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σνακ ή συνοδευτικά δημητριακών για απευθείας κατανάλωση (Torreggiani & Bertolo, 2001), ή σε είδη αρτοποιίας όπως οι σταφίδες.

### **3.6. Εφαρμογές της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας άλλων μεθόδων επεξεργασίας.**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια επεξεργασία που τις περισσότερες φορές συνδυάζεται με κάποια άλλη μέθοδο επεξεργασίας για να έχει καλύτερα αποτελέσματα η συνολική διεργασία ή/και για να χρησιμοποιηθούν πιο ήπιες συνθήκες της κυρίως διεργασίας συντήρησης. Χρησιμοποιείται λοιπόν στη βιομηχανία ως ένα στάδιο προκατεργασίας για να προκαλέσει μια μερική αφυδάτωση και στη συνέχεια ακολουθεί κάποια επιπλέον κατεργασία στο προϊόν. Με αυτό το συνδυασμό επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα στο

τελικό προϊόν, εξοικονόμηση ενέργειας και έχουμε μια πιο οικονομική συνολική διεργασία (ενδεικτικά διαγράμματα ροής στο ακόλουθο σχήμα).



**Εικόνα 9:** Ενδεικτικό διάγραμμα ροής διεργασιών για την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Μία τέτοια συνδυαστική μέθοδος είναι η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωση ως προκατεργασία της ξήρανσης. Η πιο κοινή μέθοδος ξήρανσης είναι η ξήρανση με θερμό αέρα σχετικά με την οποία έχουν γίνει πολλές μελέτες σε φρούτα και λαχανικά. Η ξήρανση δίνει ένα αρκετά αφυδατωμένο προϊόν με χαμηλή ενεργότητα ύδατος που έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Βέβαια οι υψηλές θερμοκρασίες και η επεξεργασία μεγάλης διάρκειας προκαλούν αλλοιώσεις στα θρεπτικά συστατικά αλλά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού αφυδατωμένου τροφίμου. Η ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία μειώνει το χρόνο και το κόστος της ξήρανσης με αποτέλεσμα η συνολική επεξεργασία να είναι αρκετά πιο αποδοτική. Επίσης λαμβάνουμε ένα προϊόν με βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά αφού εκτίθεται λιγότερο χρόνο στις υψηλές θερμοκρασίες της ξήρανσης. Πολλές μελέτες αναφέρουν ότι ο συνδυασμός των μεθόδων πράγματι οδηγεί σε προϊόντα με καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά με πιο συχνές τις έρευνες που διαπιστώνουν ότι διατηρείται το χρώμα των προϊόντων (Gupta et al., 2015;

Kumar et al., 2017; Mehta et al., 2018).

Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιεί την ωσμωτική αφυδάτωση ως προκατεργασία της είναι η κατάψυξη. Όταν καταψύχουμε φρούτα και λαχανικά προκαλούνται ανεπιθύμητες μεταβολές της ποιότητας που έχουν να κάνουν κυρίως με την μη αναστρέψιμη μεταβολή της υφής ή την πλήρη διάρρηξη των ιστών, με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική απώλεια υγρών (drip loss) από το εσωτερικό των κυττάρων κατά την απόψυξη (Torreggiani, 1995). Όταν η ώσμωση προηγηθεί της κατάψυξης με την μερική απομάκρυνση του νερού που προκαλεί οδηγεί σε συμπύκνωση των ενδοκυτταρικών συστατικών και ελαττώνει το σημείο κατάψυξης. Για αυτό και υπάρχουν μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις για την κατάψυξη και μειώνεται το κόστος της διεργασίας. Επιτυγχάνονται επίσης υψηλότεροι ρυθμοί κατάψυξης με ενίσχυση της μικροκρυστάλλωσης. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η ελάττωση του όγκου και του βάρους των τροφίμων, και η βελτίωση οργανοληπτικών συστατικών όπως άρωμα, χρώμα, και υφή. Ακόμα υπάρχει πολύ μικρότερη απώλεια υγρών κατά την απόψυξη. Μελέτες έχουν δείξει πως πράγματι η χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας της κατάψυξης μειώνει την υποβάθμιση της ποιότητας κατεψυγμένων φρούτων και λαχανικών (Giannakourou & Taoukis, 2003; Efimia et al., 2008).

### **3.7. Νέες τάσεις στην ωσμωτική αφυδάτωση**

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία σχετικά αργή διεργασία που πρέπει να ενισχυθεί με επιπλέον αύξηση της διαπερατότητας των κυτταρικών μεμβρανών και με επιπλέον μείωση της περιεχόμενης υγρασίας έτσι ώστε η ανάπτυξη μικροοργανισμών να ανασταλεί αποτελεσματικά. Η τροποποίηση της κυτταρικής μεμβράνης με σκοπό να διευκολυνθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μη θερμικές επεξεργασίες που θα λειτουργήσουν ως προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τέτοιες μπορεί να είναι η εφαρμογή υπερήχων, παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, μικροκυμάτων, ή η εφαρμογή ακτινοβολιών (Amami & Vorobiev, 2005; Rastogi et al., 2005).

Μια επιλογή είναι η προκατεργασία με εφαρμογή υπερύψηλης υδροστατικής πίεσης που προκαλεί μεταβολή της δομής των κυτταρικών τοιχωμάτων του τροφίμου αυξάνοντας τη διαπερατότητα των μεμβρανών ευνοώντας τα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας (Ishfaq et al.,

2016). Γίνεται επίσης χρήση ως προκατεργασία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων η οποία τροποποιεί και αυτή τις κυτταρικές μεμβράνες αυξάνοντας τη διαπερατότητά τους. Η χρήση υπερήχων με υψηλή ισχύ και χαμηλή συχνότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ρυθμό διάχυσης ενισχύοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Όμοια αποτελέσματα έχει και η εφαρμογή της γ-ακτινοβολίας που προκαλεί δομικές αλλαγές στα κύτταρα αυξάνοντας τη διαπερατότητά τους (Rastogi et al., 2006). Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η εφαρμογή κενού και η εφαρμογή φυγόκεντρης δύναμης ταυτόχρονα με την ώσμωση ή η χρήση μικροκυμάτων.

Μία ακόμα περίπτωση που εξετάζουν οι ερευνητές είναι να χρησιμοποιήσουν νέα, εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα. Γίνονται κυρίως μελέτες με σκοπό την αντικατάσταση της σακχαρόζης και εύρεσης καλύτερων υποκατάστατων. Υδατάνθρακες που συχνά προτείνονται ως εναλλακτικοί της παραδοσιακής σακχαρόζης είναι η γλυκερόλη, η σορβιτόλη, η μαλτοδεξτρίνη ή η τρεχαλόζη.

### 3.8 Ωσμωτική αφυδάτωση σε λευκό μανιτάρι

Πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φρούτα και λαχανικά αλλά λίγες είναι αυτές για το μανιτάρι. Διάφορα είδη μανιταριών έχουν μελετηθεί αλλά οι περισσότερες έρευνες αφορούν στο λευκό μανιτάρι. Στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας για μία επόμενη επεξεργασία (ξήρανση) και έπειτα μελετούνται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λευκού μανιταριού. Υπάρχουν και μελέτες σε λευκό μανιτάρι που έχει πραγματοποιηθεί ωσμωτική αφυδάτωση και έχει γίνει βελτιστοποίηση της διεργασίας με χρήση response surface methodology (για αυτές θα γίνει αναλυτική αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο). Κάποιες ενδεικτικές έρευνες με λευκό μανιτάρι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.1 :** Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε λευκό μανιτάρι

Χαρακτηριστικά έρευνας ωσμωτικής αφυδάτωσης	Ωσμωτικό υλικό/συνθήκες ώσμωσης	Βιβλιογραφία
Μελέτη φαινομένων	Εμβάπτιση σε	Mehta et al., 2013

<b>μεταφοράς μάζας</b>	διαλύματα άλατος (C) (10-20%) σε θερμοκρασία (T) (35-55oC), και διάρκεια ώσμωσης (θ) (30-60 min)	
<b>Μελέτη φαινόμενων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, ως προκατεργασία αφυδάτωσης σε θερμό αέρα - RSM</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος 10, 15 και 20% σε θερμοκρασίες (35, 45 και 55 °C)	Mehta et al., 2018
<b>Προκατεργασία ξήρανσης</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος (C) (5-10%) σε θερμοκρασίες (30 και 40 °C)	Aslnezhadi et al., 2015
<b>Μελέτη χαρακτηριστικών παραμόρφωσης-συρρίκνωσης</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος (0.10 and 0.25 g solute/g solution) σε θερμοκρασίες (40, 60 and 80 °C)	González-Pérez et al., 2019
<b>Προκατεργασία μικροκυμάτων</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος 10-15% στους 20 και 45°C / αφυδάτωση με συνδυασμό μικροκυμάτων/θερμού αέρα	Torringa et al., 2001
<b>Μελέτη φαινόμενων μεταφοράς μάζας και</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος 10-	Gupta et al., 2015



<b>χρώματος -επακόλουθη ξήρανση σε ρεύμα αέρα</b>	30% στους 60°C / αφυδάτωση σε ρεύμα αέρα για 5h	
<b>Σύγκριση χρήσης υπερήχων και μη σε ωσμωτική αφυδάτωση</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα σακχαρόζης 50% στους 30°C εντός ή χωρίς χρήση λουτρού υπερήχων	Fei et al., 2017
<b>Ωσμωτική αφυδάτωση σε δlm ζάχαρης και έπειτα άλατος</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος 5,10 και 15% σε θερμοκρασία δωματίου και σε διάλυμα σακχαρόζης 50% στους 50°C μετά από ζεμάτισμα	Yang & Le Maguer, 1992
<b>Χρήση υπερήχων</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα γλυκόζης (40%, 50% και 60% w/w), σακχαρόζης (40%, 50%, 60% w/w) και NaCl (10%, 15%, 20% w/w) στους 30°C για 75 min σε συνδυασμό με υπερήχους	Pei et al., 2019
<b>Μελέτη φαινομένων μεταφοράς μάζας</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα σακχαρόζης 20, 30 και 40% στους 30, 40, 50	Rezagah et al., 2010

	και 60°C	
<b>Μελέτη χρόνου ζωής (χρήση ξήρανσης)</b>	Εμβάπτιση σε διαλύματα άλατος 10,15 και 20% και σε διάλυμα σακχαρόζης 50, 60 και 70°Brix, ακολουθούμενη από ξήρανση σε φούρνο στους 55°C. Είχε προηγηθεί διεργασία για την απενεργοποίηση του ενζύμου PPO	Kumar et al. 2017

Οι Mehta et al. χρησιμοποίησαν διαλύματα NaCl περιεκτικότητας 10-15-20% σε θερμοκρασίες 35,44,55 °C για 2 ώρες και μελέτησαν την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών και τη μείωση του όγκου. Και οι 3 παράμετροι συμπέρανε ότι αυξάνονται με αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των διαλυμάτων.

Οι Ashlenezhadi et al. πραγματοποίησαν ωσμωτική αφυδάτωση σε λευκό μανιτάρι σε διαλύματα άλατος 5-10% περιεκτικότητας σε θερμοκρασίες 30-40-50 °C σε χρόνους 1,2 και 3 ώρες. Έπειτα στα δείγματα εφάρμοσε ξήρανση σε ρεύμα αέρα στους 60°C. Παρατήρησε πως αύξηση και των τριών παραμέτρων οδήγησε σε αύξηση απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών. Επίσης υπήρξε μειωμένη συρρίκνωση των δειγμάτων λόγω της ώσμωσης και μετατροπή της φωτεινότητας, ενώ η διαφορά χρώματος δεν επηρεάστηκε από την ώσμωση.

Οι González-Perez et al. συμπέραναν ότι αύξηση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης ωσμωτικού μέσου είχαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών κάτι που οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στη μείωση του ιξώδους του ωσμωτικού μέσου σε υψηλότερες θερμοκρασίες και τη διόγκωση και πλαστικοποίηση της κυτταρικής μεμβράνης που ευνοεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Μελέτησαν ακόμα διεξοδικά τα

χαρακτηριστικά παραμόρφωσης και συρρίκνωσης των δειγμάτων.

Οι Torringa et al., εφάρμοσαν ώσμωση στους 20 και 45°C σε διαλύματα άλατος περιεκτικότητας 10 και 15% και σε χρόνους από 10 έως 110 λεπτά . Έπειτα στα δείγματα εφαρμόστηκε ξήρανση με μικροκύματα. Συμπέραναν ότι με τη χρήση της ώσμωσης γινόταν πιο ομοιόμορφη θέρμανση στο προϊόν με τροποποίηση των διηλεκτρικών ιδιοτήτων λόγω της πρόσληψης στερεών. Επίσης η εφαρμογή της ώσμωσης μειώνει το χρόνο της ξήρανσης και υπήρχε και μείωση στη συρρίκνωση του προϊόντος. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες είχαν αποτέλεσμα γρηγορότερη μείωση της υγρασίας. Μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών ήταν αποτέλεσμα διαλυμάτων υψηλότερης συγκέντρωσης και περισσότερου χρόνου επεξεργασίας. Μεγαλύτερη συγκέντρωση είχε και αποτέλεσμα πιο ομοιόμορφης θέρμανσης ενώ η επεξεργασία σε διαλύματα με λιγότερο αλάτι είχε αποτέλεσμα θέρμανση που εστίαζε κυρίως στο κέντρο της φέτας του μανιταριού. Λόγω της προκατεργασίας της ώσμωσης μειώθηκε επίσης και η συρρίκνωση του προϊόντος.

Οι Gurta et al., μελέτησαν ωσμωτική αφυδάτωση με διαλύματα άλατος ως προκατεργασία ξήρανσης και κατέληξαν στο ότι μεγαλύτερη απώλεια νερού υπήρχε σε διαλύματα μεγαλύτερης περιεκτικότητας άλατος και πως η χρήση της μεθόδου σαν προκατεργασία οδηγεί σε προϊόν με μεγαλύτερη φωτεινότητα και μικρότερη αλλαγή χρώματος.

Οι Fei et al., μελέτησαν τη χρήση υπερήχων σα προκατεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης και κατέληξαν ότι η μέθοδος είναι πιο αποδοτική και ο χρόνος της διεργασίας μειώνεται κατά πολύ σε σχέση με την απλή ωσμωτική αφυδάτωση. Επίσης διατηρείται καλύτερα η γεύση και τα θρεπτικά συστατικά αλλά και η υφή είναι καλύτερη και θυμίζει περισσότερο τα φρέσκα προϊόντα.

Οι Kumar et al., κατέληξαν ότι η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν την ξήρανση εξοικονόμησε ενέργεια και έδωσε καλύτερα προϊόντα βελτιωμένης ποιότητας.

## Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology - RSM)

### 4.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM) είναι μια συλλογή στατιστικών και μαθηματικών τεχνικών, ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάπτυξη, το σχεδιασμό, και ειδικά τη βελτιστοποίηση διεργασιών. Έχει επίσης σημαντικές εφαρμογές στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την παραγωγή νέων προϊόντων τροφίμων, καθώς και στη βελτίωση των υφιστάμενων προϊόντων. Οι πιο εκτεταμένες εφαρμογές της RSM αφορούν στο βιομηχανικό τομέα, ιδίως σε καταστάσεις όπου πολλές μεταβλητές εισόδου (input variables, καλούνται ανεξάρτητες μεταβλητές) επηρεάζουν την απόδοση μιας διεργασίας ή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου υπό μελέτη. Αυτές οι παράμετροι καλούνται «απόκριση». Με τη βοήθεια της RSM είναι δυνατή:

1. η εύρεση του εύρους τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών
2. η ανάπτυξη κατάλληλης σχέσης μεταξύ της απόδοσης και των μεταβλητών της διεργασίας
3. η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών ή επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών ( $X_1, X_2$ ) που παράγουν επιθυμητές τιμές για τις αποκρίσεις ( $y_1, y_2$ ) και οδηγούν στο πλέον επιθυμητό τελικό προϊόν (Sanchez et al., 2004).

Η σχέση που αποτελεί τη βάση σχεδιασμού της μεθοδολογίας είναι η ακόλουθη:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (1)$$

Το πρώτο βήμα είναι να εκτιμηθεί η μορφή της συνάρτησης απόκρισης  $f$ , η οποία αρχικά είναι άγνωστη. Συνήθως χρησιμοποιείται μια χαμηλής τάξης (πρώτης ή δεύτερης) πολυωνυμική συνάρτηση σε ένα περιορισμένο εύρος διακύμανσης της ανεξάρτητης μεταβλητής.

Η εξίσωση πρώτης τάξης είναι κατάλληλη, όταν στόχος είναι να εκτιμηθεί η πραγματική επιφάνεια απόκρισης σε μία περιοχή που η συνάρτηση  $f$  παρουσιάζει μικρή καμπύλωση. Στην περίπτωση δύο ανεξάρτητων μεταβλητών η εξίσωση 1ης τάξης λαμβάνει τη μορφή:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \quad (2)$$

Όταν απαιτείται να ληφθεί υπόψη και η αλληλεπίδραση (interaction) μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών εκτός από τις κύριες επιδράσεις (main effects), τότε εισάγεται και ένας παράγοντας καμπύλωσης στη συνάρτηση απόκρισης και το μοντέλο τροποποιείται ως εξής:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (3)$$

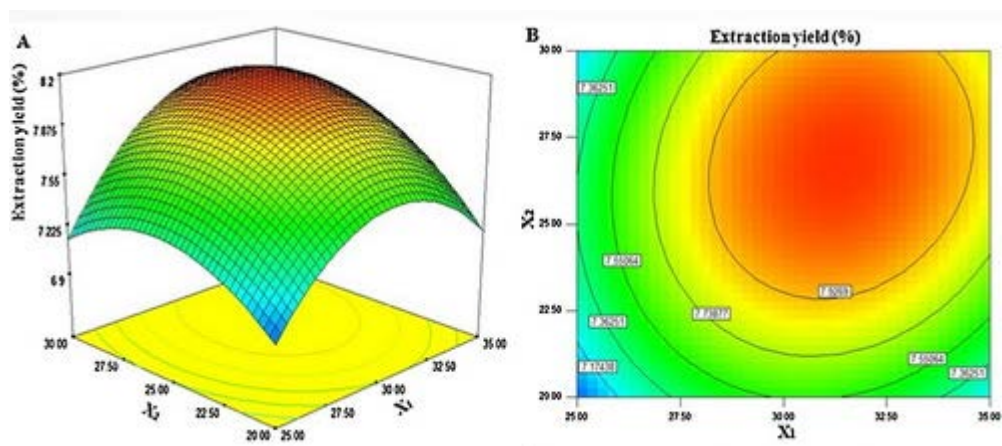
Στις περιπτώσεις που η καμπύλωση στην επιφάνεια απόκρισης είναι ιδιαίτερα έντονη, η εξίσωση 1ης τάξης είναι ανεπαρκής. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτείνεται η ακόλουθη εξίσωση 2ης τάξης, που στην περίπτωση δύο μεταβλητών, περιγράφεται ως εξής:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (4)$$

Η εξίσωση 2ης τάξης χρησιμοποιείται ευρέως στη μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης για τους εξής λόγους:

- α. είναι ευέλικτο και λειτουργεί αποτελεσματικά ως εκτίμηση της πραγματικής επιφάνειας απόκρισης
- β. είναι εύκολο να υπολογιστούν οι παράγοντες  $\beta$  με χρήση κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων (μέσω της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων)
- γ. υπάρχει πληθώρα δημοσιευμένων εργασιών που αποδεικνύουν ότι λειτουργεί αποτελεσματικά στην επίλυση προβλημάτων επιφανειών απόκρισης.

Στο σχήμα της εικόνας 10 απεικονίζεται γραφικά η σχέση μεταξύ της απόκρισης μιας διεργασίας ( $y$ , εδώ η απόδοση της εκχύλισης) και των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο λόγος του νερού προς την πρώτη ύλη ( $X_1$ ) και ο χρόνος εκχύλισης ( $X_2$ ) (Liu et al., 2013). Σημειώστε ότι για κάθε τιμή  $X_1$  και  $X_2$  υπάρχει αντίστοιχη τιμή  $y$  και ότι μπορούμε να δούμε αυτές τις τιμές της απόκρισης ως επιφάνεια που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των μεταβλητών  $X_1$  και  $X_2$ . Αυτή ακριβώς η γραφική προοπτική (εικόνα 10α, surface plot) οδήγησε στον όρο μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης. Συχνά αντίστοιχες πληροφορίες αντλούνται από δισδιάστατο διάγραμμα (Εικόνα 10β, contour plot), όπου συνδέονται όλα τα σημεία που έχουν την ίδια απόκριση για να παράγουν γραμμές περιγράμματος σταθερής απόκρισης.



**Εικόνα 10:** (α) surface plot.(b) contour plot

Μελετώντας τα παραπάνω σχήματα, είναι φανερό ότι αν η μορφή των διαγραμμάτων των επιφανειών απόκρισης ήταν παρόμοιες με αυτά, η βελτιστοποίηση της διεργασίας είναι πολύ απλή. Παρατηρώντας την επιφάνεια, παρατηρούμε ότι η απόδοση μεγιστοποιείται

στην κορυφή, όπου οι ανεξάρτητες μεταβλητές λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, όπως φαίνεται και από το σχήμα Β, στην περιοχή του έντονου κόκκινου χρώματος. Δυστυχώς, στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές, δεν είναι τόσο προφανή τα αποτελέσματα. Στις περιπτώσεις αυτές, απαιτείται συγκεκριμένη μεθοδολογία προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού της διεργασίας, ώστε να επιτευχθεί το προσδοκώμενο αποτέλεσμα (το οποίο πρέπει να καθορίζεται κάθε φορά με σαφήνεια).

## 4.2. Μεθοδολογία

Οι μέθοδοι επιφανειών απόκρισης συνήθως περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα (Experiment Design & Analysis Reference, ReliaSoft Corporation, Tucson, Arizona, USA, Chapter 10):

1. Το πείραμα σχεδιάζεται ώστε οι παράμετροι να μετακινηθούν από τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας κοντά στις συνθήκες λειτουργίας όπου η απόκριση είναι η βέλτιστη. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απότομης ανόδου (method of steepest ascent) σε περίπτωση μεγιστοποίησης της απόκρισης. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση της απόκρισης και στη συνέχεια αναφέρεται ως η μέθοδος απότομης ελάττωσης (method of steepest descent).

2. Στην περιοχή πλησίον της βέλτιστης απόκρισης, απαιτείται ένα πιο περίπλοκο μοντέλο μεταξύ της απόκρισης και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Για να επιτευχθεί αυτό, υλοποιείται ειδικός πειραματικός σχεδιασμός, που αναφέρεται ως σχεδιασμός RSM. Το προσαρμοσμένο μοντέλο χρησιμοποιείται για να φτάσει στις καλύτερες συνθήκες λειτουργίας που έχουν ως αποτέλεσμα είτε μια μέγιστη είτε μια ελάχιστη απόκριση.

3. Είναι πιθανό ένας αριθμός αποκρίσεων να πρέπει να βελτιστοποιηθεί ταυτόχρονα, απαίτηση που θα εφαρμοσθεί και στην παρούσα εργασία. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς οι βέλτιστες τιμές για καθμία από τις αποκρίσεις σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αντικρουόμενες τιμές για τους παράγοντες. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα υπολογιστικό εργαλείο που ονομάζεται “desirability functions” (συναρτήσεις επιθυμίας).

Όπως προαναφέρθηκε, μια εξίσωση 2<sup>ης</sup> τάξης επιλέγεται για να περιγράψει την απόκριση, στην περιοχή κοντά στις τιμές βελτιστοποίησης, όπου η εξίσωση 1<sup>ης</sup> τάξης δεν δίνει επαρκή αξιοπιστία. Το μοντέλο αυτό συνήθως κρίνεται ως ικανοποιητικό, εφόσον οι επιδράσεις υψηλότερων τάξεων είναι σπάνια σημαντικές. Εάν η απόκριση επηρεάζεται από περισσότερους από έναν παράγοντα ελέγχου, τότε η εξίσωση (4) λαμβάνει τη γενικότερη μορφή:

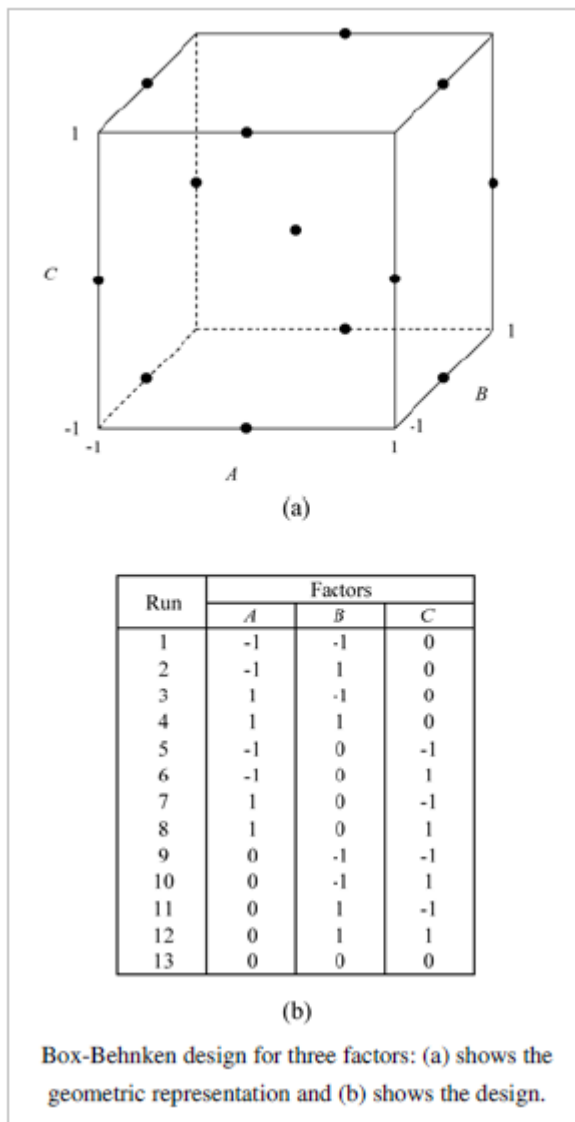
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \beta_{kk} X_k^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \beta_{k-1,k} X_{k-1} X_k + \epsilon \quad (5)$$

Όπου η εξίσωση περιέχει  $p=(k+1)(k+2)/2$  παραμέτρους προς προσδιορισμό που περιλαμβάνουν τις κύριες επιδράσεις ( $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ), τις δεύτερης τάξης επιδράσεις ( $\beta_{11}, \beta_{22}, \dots, \beta_{kk}$ ) και τις παραμέτρους για αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεξαρτήτων

μεταβλητών. Ένας πλήρης πειραματικός σχεδιασμός σε τρία επίπεδα θα επέτρεπε τον προσδιορισμό όλων των παραμέτρων, αλλά μια τέτοια προσέγγιση αυξάνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος του πειράματος, εφόσον ο αριθμός των πειραμάτων αυξάνει ταχύτατα με την αύξηση των ανεξάρτητων μεταβλητών. Για παράδειγμα, ένας πλήρης σχεδιασμός τριών παραμέτρων σε τρία επίπεδα απαιτεί  $3^3=27$  πειράματα, ενώ το αντίστοιχο πλήθος για 4 παραμέτρους ανεβαίνει σε 81. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να γίνει αποτελεσματικά η ανάλυση των επιφανειών απόκρισης, χρησιμοποιούνται ειδικοί σχεδιασμοί στα πειράματα, με σκοπό να προσαρμοστεί η εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού στην απόκριση, με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό πειραμάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων σχεδιασμών είναι ο σχεδιασμός κεντρικού σημείου (central composite design) και ο σχεδιασμός Box-Behnken, που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής.

### **4.3 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken**

Οι G. E. P. Box and D. W. Behnken (1960) πρότειναν έναν πειραματικό σχεδιασμό για την περίπτωση διεργασιών που επηρεάζονται από τρεις βασικούς παράγοντες, ο οποίος πλέον έχει καθιερωθεί σε μεγάλο βαθμό για την αξιόπιστη προσαρμογή πολυωνυμικών εξισώσεων 2<sup>ου</sup> βαθμού. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον σχεδιασμό αυτό (σε γεωμετρική απεικόνιση και σε πίνακα κωδικοποίησης των πειραμάτων) για τρεις παράγοντες.



**Εικόνα 11:** Απεικόνιση των συνδυασμών των τιμών των παραμέτρων, σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό Box-Behnken.

Το βασικό πλεονέκτημα ενός τέτοιου σχεδιασμού είναι ότι αποτελεί σφαιρικό σχεδιασμό (οι τιμές των παραμέτρων συνήθως ισαπέχουν από το κεντρικό σημείο) και απαιτείται να γίνουν πειράματα μόνο σε τρία επίπεδα των παραμέτρων. Επίσης, όπως παρατηρείται και από τον πίνακα του σχεδιασμού, δεν προβλέπονται πειράματα όπου όλες οι παράμετροι είναι ταυτόχρονα με κωδικοποίηση +1 ή -1 (στα κομβικά σημεία). Αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα όταν τα 'ακραία' αυτά σημεία απαιτούν δύσκολους χειρισμούς ή ακραίες συνθήκες, εφόσον βρίσκονται στα όρια των παραμέτρων λειτουργίας της διεργασίας. Ο πειραματικός σχεδιασμός που εφαρμόστηκε στην μελέτη αυτή (ο οποίος περιγράφεται με λεπτομέρεια στο κεφάλαιο «Υλικά και μέθοδοι») καταρτίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού του Minitab, όπου έγινε και η επεξεργασία της προσαρμογής των πολυωνύμων, αλλά και η χρήση των συναρτήσεων επιθυμίας, όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.



#### 4.4 Συναρτήσεις επιθυμίας για την εύρεση βέλτιστων συνθηκών (desirability functions)

Σε πολλές περιπτώσεις, το ζητούμενο σε μια διεργασία είναι να βελτιστοποιηθούν παραπάνω από μια αποκρίσεις ταυτόχρονα. Μια τέτοια περίπτωση αναλύθηκε και στην παρούσα εργασία. Το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάλυσης πολλαπλώς αποκρίσεων (multiple responses) είναι ότι μπορεί να προκύψουν αντιφατικά αποτελέσματα, λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων για κάθε απόκριση. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι να εντοπισθεί λύση ώστε να ικανοποιηθούν στο μέγιστο βαθμό οι διαφορετικές απαιτήσεις, χωρίς να απέχει πολύ η λύση από τη βέλτιστη για κάθε παράγοντα χωριστά. Η υπολογιστική επίλυση του αλγόριθμου αυτού βασίζεται στις ακόλουθες εξισώσεις και οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού του MINITAB (response optimizer) [Derringer and Suich, 1980]).

Σχετικά με την εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM στην παρούσα εργασία, η βελτιστοποίηση πολλαπλών αποκρίσεων βασίστηκε στη χρήση των κατάλληλων συναρτήσεων επιθυμίας (desirability functions), όπως προτάθηκαν από τους Derringer and Suich, 1980, Costa and Lourenco 2014 και Costa et al., 2011. Αναλυτικά, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5 (Υλικά και Μέθοδοι).

#### 4.5 Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση της μεθοδολογίας RSM

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ενδιαφέρουσα ήπια θερμική διεργασία, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλές μελέτες για τρόφιμα, ως αποτελεσματική εναλλακτική τεχνική έναντι άλλων συμβατικών μεθόδων συντήρησης. Λίγες όμως είναι οι μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με τη χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών χρήση (response surface methodology, (RSM) για να βελτιστοποιήσουν τη διεργασία με σκοπό τη βελτιστοποίηση της διεργασίας. Όπως βλέπουμε φαίνεται και στον επόμενο πίνακα η πλειοψηφία των ερευνών αφορούν σε φυτικούς ιστούς και κυρίως φρούτα. Οι περισσότερες έρευνες προσανατολίζονται στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας και επικεντρώνονται στην εύρεση των συνθηκών που τα επηρεάζουν περισσότερο κατά την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Σκοπός τους είναι να προβλέψουν τις βέλτιστες συνθήκες – παραμέτρους για τη διεργασία λαμβάνοντας υπόψη κάποια επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Ζητούμενο λοιπόν είναι να αυξηθεί η απόδοση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Χαρακτηριστικό των περισσότερων ερευνών είναι ότι επιδιώκουν τις βέλτιστες συνθήκες που θα υπάρξει η μέγιστη απώλεια νερού (Water Loss, WL) και ελάχιστη δυνατή ενεργότητα ύδατος (aw) με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ελάχιστη ποιοτικής αλλοίωσης του τελικού προϊόντος. Κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά που συνήθως

μελετούνταν μελετούνται εκτός από την ενεργότητα ύδατος και την πρόσληψη στερεών (Solid Gain, SG) που είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ήταν η συνολική αλλαγή χρώματος ( $\Delta E$ ), και η συρρίκνωση του προϊόντος και πιο σπάνια άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η γεύση, η υφή ή η απώλεια φωτεινότητας.

Οι παράμετροι ή αλλιώς οι συνθήκες που θέλουν οι ερευνητές να προβλέψουν συνήθως αποτελούν το ζητούμενο προς προσδιορισμό σε μια ανάλυση με το στατιστικό εργαλείο της RSM για τη βελτιστοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφορούν συνήθως τη θερμοκρασία, το χρόνο και τη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος και σπανιότερα άλλες όπως η αναλογία διαλύματος – δείγματος, η ταχύτητα ανακίνησης, ή το πάχος του δείγματος.

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα στις περισσότερες μελέτες χρησιμοποιήθηκε η σακχαρόζη και πιο σπάνια άλλα γλυκαντικά στο ωσμωτικό διάλυμα, ενώ επίσης πολλές φορές χρησιμοποιείται και αλάτι σε μικρές περιεκτικότητες (tertiary solutions).

Δύο είναι οι πειραματικοί σχεδιασμοί που εφαρμόστηκαν με τη χρήση της RSM. Ο ένας ήταν ο Box Behnken πειραματικός σχεδιασμός και ο άλλος ο Central Composite σχεδιασμός. Και στους δύο πειραματικούς σχεδιασμούς γινόταν χρήση τριών παραγόντων (θερμοκρασία, συγκέντρωση διαλύματος, χρόνος) σε τρία επίπεδα (levels). Οι αποκρίσεις ήταν συνήθως αυτές που αναφέρθηκαν και προηγουμένως όπως απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών. Σε κάποιες μελέτες γινόταν χρήση και παραπάνω παραγόντων συνήθως τέσσερις ή και πέντε. Ο Dehkordi (2010) στη μελέτη του στο λευκό μανιτάρι χρησιμοποίησε έξι παραμέτρους σε 5 επίπεδα. Σε κάποιες μελέτες αναφέρεται επίσης και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε. Οι Ramya et al. (2014) έκαναν χρήση του Design Expert λογισμικού με σχεδιασμό Box Behnken τεσσάρων παραγόντων. Οι Mirzayi et al. (2018) στη μελέτη τους σε μπανάνες αναφέρουν ότι χρησιμοποίησαν το Minitab, λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα μελέτη.

Σε αρκετές μελέτες όλοι οι παράγοντες είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, ενώ σε μερικές υπήρχαν παράγοντες που επηρέαζαν αυτά τα φαινόμενα πολύ περισσότερο από άλλους. Σε κάποιες αποκρίσεις που αφορούσαν ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η απώλεια χρώματος ή η συρρίκνωση προϊόντος υπήρχαν παράγοντες που μπορεί να μην είχαν και καθόλου επίδραση. Παραδείγματος χάρη, στη μελέτη των Haque et al. (2020) σε μπανάνες σημαντικότερος με διαφορά παράγοντας για την απώλεια νερού ήταν ο χρόνος την ωσμωτικής αφυδάτωσης, με αύξηση του χρόνου να προκαλεί αύξηση απώλειας νερού. Για τη μεταβολή του χρώματος ( $\Delta E$ ) σημαντικότερο ρόλο έπαιξε η ισχύς των μικροκυμάτων. Οι Atares et al. (2010) σε άλλη μια μελέτη σε μπανάνες κατέληξαν στο ότι η συγκέντρωση σακχαρόζης και η θερμοκρασία είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση στη απόδοση της αφυδάτωσης ενώ δεν είχαν μεγάλη επίδραση στη μεταβολή φωτεινότητας και χρώματος αλλά η θερμοκρασία είχε στην απώλεια όγκου και στη μεταβολή του σχήματος. Οπότε Με βάση τα ευρήματα αυτά, συμπεράναν ότι πρέπει να υπάρχει δίνεται προσοχή στην επιλογή της θερμοκρασίας για να έχουμε ένα ποιοτικά αποδεκτό προϊόν με την επιθυμητή απόδοση αφυδάτωσης. Υπήρχαν όμως και μελέτες όπως των Khatir et al. (2013) σε πορτοκάλι και των Mokhtarian et al. (2012) σε κολοκύθα που συμπεράναν ότι όλες οι παράμετροι ήταν εξίσου σημαντικές.

Σε πολλές μελέτες έγινε επαλήθευση (validation) των προβλεπόμενων τιμών από τις βέλτιστες συνθήκες που προέβλεψε η RSM με πολλαπλά πειράματα. Οι Tiroutchelvame et al. (2019) έκαναν τριπλό πείραμα επαλήθευσης και πράγματι οι προβλεπόμενες τιμές επαληθεύτηκαν πειραματικά. Παρόμοια επαληθευτικά πειράματα έκαναν και οι Amiripour et al. (2015) στη μελέτη τους σε αχλάδια αλλά και οι Mehta et al. (2012) και Dehkordi (2010) σε λευκό μανιτάρι. Όλοι κατάφεραν να επαληθεύσουν τις προβλεπόμενες τιμές πειραματικά.

Κοινό στοιχείο όλων των ερευνών ήταν το συμπέρασμα ότι η RSM ήταν πολύ αποτελεσματική τεχνική στο να εντοπίσει τις βέλτιστες συνθήκες για τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, ανάλογα με τα εκάστοτε κριτήρια που τίθενται, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται άμεσα από το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα για το τελικό προϊόν. Αυτό σημαίνει ότι άλλα κριτήρια και διαφορετικοί περιορισμοί πρέπει να τεθούν σε περίπτωση που στόχος είναι η παρασκευή ενός ενδιάμεσου προϊόντος που θα υποστεί στη συνέχεια άλλη μέθοδο συντήρησης (π.χ. κατάψυξη/ψύξη ή αφυδάτωση), ενώ διαφορετικά θα είναι τα κριτήρια και οι συναρτήσεις επιθυμίας (Desirability Functions) σε περίπτωση που τελικός στόχος είναι η παραγωγή ενός σακχαρωμένου/παστού προϊόντος (οπότε και θα δινόταν έμφαση στην πρόσληψη στερεών).

Υπάρχουν βέβαια και μελέτες που έκαναν σύγκριση των προβλεπόμενων τιμών της RSM, με άλλα μοντέλα που έχουν παρόμοια λειτουργία όπως τα νευρωνικά δίκτυα (artificial neural network, (ANN), με το οποίο και σύγκριναν τα αποτελέσματα της RSM σε μελέτη τους σε κολοκύθα οι Maran et al. (2013).

Τέλος υπήρξαν και μελέτες που έπειτα από την ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιήθηκε και κάποια άλλη επεξεργασία όπως στην έρευνα των Amiripour et al. (2015) στην οποία στη ουσία η ωσμωτική αφυδάτωση ήταν μια προκατεργασία για μια μετέπειτα ξήρανση που είχε σκοπό να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και να διατηρηθεί η φυσικότητα του προϊόντος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικές βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την συνδυαστική εφαρμογή και τη βελτιστοποίηση των λειτουργικών παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της προσέγγισης response surface methodology.

Βλέπουμε πως, εκτός από την μπανάνα που ήταν ο φυτικός ιστός προς διερεύνηση στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχουν και μελέτες σε μανιτάρια και συγκεκριμένα δύο από αυτές σε λευκό μανιτάρι.

**Πίνακας 4.1.** Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM).

Τρόφιμο	Συστατικά ωσμωτικού διαλύματος	Συνθήκες ώσμωσης (θερμοκρασία-χρόνος)	Βέλτιστες συνθήκες	Αναλογία διαλύματος/δ είγματος	Βιβλιογραφία
Λευκό μανιτάρι ( <i>Agaricus Bisporus</i> )	Αλάτι 10-20%	35-55 °C, 30- Πίνακας 1.1. Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM). 60min	44.89 °C NaCl 16.53 % 47.59 min	5:1	Mehta et al., 2012
Λευκό μανιτάρι ( <i>Agaricus Bisporus</i> )	Αλάτι 0-15%, Σακχαρόζη 40-60%	25-40°C, 120-300min	39°C, 164min, 14% αλάτι, 53% σακχαρόζη	10:1	Dehkordi, 2010
Μανιτάρι Πλευρώτους	Αλάτι 10-20%	30-60°C, 15-240min	45°C, 53.54min, αλάτι 14.09%, ratio 6.08:1	4:1, 8:1	Ramya et al., 2014
Άγρια Βατόμουρα	Σακχαρόζη 60%,65%,70%	30,40,50°C, 2,5,8 ώρες	40°C, 5 hours, 65%, 1:5 ratio	2:1, 4:1, 6:1	Sharif et al., 2018
Αχλάδι	Σακχαρόζη 50-70%	25-55°C, 60-120λεπτά	55°C, 50% σακχαρόζη, 115λεπτά	20:1	Amiripour et al., 2015
Βερίκοκο	Γλυκερόλη 40-60%, Εριθριτόλη 12.5%, Γλυκοζίτες στεβιόλης 1.25%, Αλάτι 3.5% , χλωρ.ασβέστιο 1.5%,	25-45°C, 3-240λεπτά		5:1	Dermesonlouoglou & Giannakourou, 2018
Καρότο	Σακχαρόζη °Brix, 5-15% αλάτι	120-240λεπτά, 35- 55°C	54.8°C, 15% αλάτι, σακχαρόζη 50°Brix, 120λεπτά	5:1	Singh et al., 2008
Κολοκύθα	Αλάτι 17-20%, σακχαρόζη 25-30%	25-65°C, 45-60 λεπτά	60°C, 70λεπτά	4:1	Derossi et al., 2008
Κολοκύθα	Αλάτι 5-15%, σακχαρόζη 50%	5-50°C, 60-180λεπτά	5°C, 180λεπτά, αλάτι 15%	20:1	Mokhtarian et al., 2012
Μπανάνα	45-65% σακχαρόζη	30-50°C, 20-240λεπτά		20:1	Atares et al., 2010
Μπανάνα	Σακχαρόζη 40-50- 60°Brix	Χρήση μικροκυμάτων 100-1000watt, 10-50 λεπτά	59.99°Brix, 100watt, 50 λεπτά	30:1	Haque et al, 2020
Μπανάνα	Σακχαρόζη 50- 60°Brix, Αλάτι 0,5,10%	Θερμοκρασία δωματίου (26±2 °C) 90-180-270-360 λεπτά	Σακχαρόζη 60 ° Brix NaCl 10% 360 λεπτά	5:1	Mirzayi et al, 2018
Μπανάνα	Σακχαρόζη 30-60% Αλάτι 0-10%	25-55 °C, 0-10 ώρες			Mercali et al, 2011M
Μπανάνα ( <i>musa acuminata</i> )	30-50 Brix σακχαρόζη	30-50°C, 30-180λεπτά	43 Brix, 10:1, 164min, 50°C	10:1	Tiroutchelvame et al., 2019
Παπάγια	Jaggery 30-60 Brix	30-50°C	32°C, 60 Brix		Maran et al., 2013

<b>Πατάτα</b>	Σακχαρόζη 40-60%, αλάτι 0-15%	20-60°C, 30-480λεπτά	22°C ,σακχαρόζη 54.5% ,αλάτι 14% 329 min	5:1	Eren & Kaymak-Ertekin, 2007
<b>Πιπεριά πράσινη</b>	Σορβιτόλη 0-10%, αλάτι 0-10%	20-40°C, 15-600λεπτά	30°C, 240min, 5,5NaCl, 6% sorbitol	3:1	Ozdemir et al., 2008
<b>Πορτοκάλι</b>	Ζάχαρη 45-65%	40-60°C, 60-240min	50°C, 240λεπτά, 65% ζάχαρη	5:1	Khatir et al., 2013
<b>Ροδάκινο</b>	Σακχαρόζη 50-70 Brix	35-55°C, 2-4 ώρες	69,9Brix, 3.97h, 37.63°C	5:1	Yadav et al., 2012

## Κεφάλαιο 5: Υλικά & Μέθοδοι

Στο κεφάλαιο αυτό θα καταγραφούν όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, οι τρόποι δειγματοληψίας και προετοιμασίας των δειγμάτων, ο χειρισμός και ο αριθμός των δειγμάτων. Περαιτέρω θα καταγραφούν όλες οι μέθοδοι και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν.

### 5.1 Ωσμωτική αφυδάτωση

Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν λευκά μανιτάρια των οποίων η προμήθεια γινόταν συστηματικά από τοπικό κατάστημα, σε συσκευασίες συγκεκριμένης εταιρείας. Ιδιαίτερη έμφαση δινόταν στην ομοιομορφία και στην βέλτιστη δυνατή ποιότητα των δειγμάτων στο χρόνο μηδέν των πειραμάτων.



**Εικόνα 12:** Χαρακτηριστική φωτογραφία ολόκληρου και τεμαχισμένου δείγματος μανιταριού προ ώσμωσης

Για την κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιήθηκαν τεμάχια λευκού μανιταριού πάχους  $8 \pm 1$  cm και βάρους  $9 \pm 2$  g. Για την πραγματοποίηση της ώσμωσης, παρασκευάστηκαν διαφορετικά υπερτονικά διαλύματα, με βάση τη γλυκερόλη και μικρή προσθήκη NaCl. Τα τεμάχια εμβαπτίστηκαν στο υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα (με συγκέντρωση γλυκερόλης 30, 40 και 50% και NaCl 5%) με αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα 1:15. Η αναλογία αυτή επιλέχθηκε ώστε να μην πραγματοποιηθεί σημαντική αραιώση του διαλύματος. Η επεξεργασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 30, 40 και 50 °C, σε υδατόλουτρο (PolyScience water bath, WB10A11B). Τα δείγματα παρέμειναν εντός των δοχείων που ήταν εμβαπτισμένα στο διάλυμα για διάστημα έως και 180 λεπτά. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, λαμβάνονται

ενδιάμεσες μετρήσεις για τον προσδιορισμό της μεταβολής βάρους, της ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ ), του περιεχόμενου άλατος, της μεταβολής των βαθμών Brix του διαλύματος και των δειγμάτων, του χρώματος, και της υφής.



**Εικόνα 13:** Υδατόλουτρο εργαστηρίου

### 5.1.1 Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική, τη φαρμακευτική, αλλά και στη βιομηχανία τροφίμων (Mah et al., 2014). Πρόκειται για ένα άχρωμο, άοσμο υγρό με γλυκιά γεύση. Σε θερμοκρασία δωματίου έχει κολλώδη υφή και δεν είναι τοξική σε μικρές συγκεντρώσεις. Η γλυκερόλη (Glykerin EP 212, Oleogen SRL, U.S) χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα για τη μείωση της ενεργότητας του νερού μιας και είναι μία από τις πιο σημαντικές υγροσκοπικές ουσίες (humectants). Η ιδιότητα αυτή στηρίζεται στην ικανότητα της να σχηματίζει ενδομοριακούς δεσμούς υδρογόνου, ιδιαίτερα με μόρια νερού. Παράλληλα, βελτιώνει το ιξώδες και την υφή του τροφίμου, χωρίς να αυξάνει σημαντικά τη γλυκύτητα. Η μικρή τοξικότητα και η έλλειψη δυσάρεστης οσμής ή γεύσης επιτρέπουν τη χρήση της γλυκερόλης ως γαλακτωματοποιητή, αλλά και ως πλαστικοποιητή στα τρόφιμα (Mc Hugh and Krochta, 1994). Χαρακτηρίζεται στον Codex Alimentarius ως υγραντικό/πηκτικό μέσο και έχει αντιμικροβιακές ιδιότητες (Moreira et al., 2007; Codex

Alimentarius, 2012), ενώ έχει εγκριθεί η χρήση της ως πρόσθετου στα τρόφιμα και τα υλικά συσκευασίας των τροφίμων (ασφαλές (GRAS) συστατικό σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ, FDA). Αναφορικά με τη θερμιδική της αξία αυτή είναι  $1,8 \cdot 10^7$  J/kg (4,3 kcal/g) και αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγής βιοκαυσίμων.

## 5.2 Πειραματική διαδικασία

Ετοιμάζονται 6 συνολικά βαζάκια στα οποία τοποθετούνται πέντε δείγματα λευκού μανιταριού, στις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν. Πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί και προζύγιση των απαιτούμενων ποσοτήτων των συστατικών (γλυκερόλη – NaCl – νερό), και παρασκευάστηκαν τα υπερτονικά ωσμωτικά διαλύματα (5% NaCl και 30, 40 και 50% γλυκερόλη). Παράλληλα, προετοιμάζονται δείγματα μανιταριών – μάρτυρες (control) με τις ίδιες διαστάσεις, τα οποία δεν υποβάλλονται σε ώσμωση.

## 5.3 Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τα τεμάχια μανιταριού, αφού απομακρυνθούν από το ωσμωτικό διάλυμα, σκουπίζονται επιφανειακά με απορροφητικό χαρτί ώστε να απομακρυνθεί το ωσμωτικό διάλυμα και στη συνέχεια πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις:

### 5.3.1 Προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος (water activity, $a_w$ )

Σκοπός της μέτρησης ενεργότητας ύδατος είναι η μέτρηση της ποσότητας του διαθέσιμου νερού που έχει το δείγμα πριν και μετά την διεργασία της ώσμωσης. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με το όργανο *Aqualab 4TE Dew Point Water Activity Meter* (Εικ. XX). Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Επαρκής ποσότητα δείγματος (ώστε να καλύπτει τον όγκο του περιέκτη μέχρι το σημείο της χαραγής) τοποθετείται στο μετρητή και λαμβάνεται αποτέλεσμα μόλις επιτευχθεί ισορροπία ατμών. Μια υπέρυθη ακτίνα που εστιάζει σε έναν καθρέπτη καθορίζει την ακριβή τιμή της θερμοκρασίας δρόσου του δείγματος, που στη συνέχεια μεταφράζεται σε ενεργότητα ύδατος.





**Εικόνα 14:** AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE

Πριν τοποθετηθούν τα δείγματα, ενεργοποιείται η διάταξη και ο θάλαμος αφήνεται κενός για περίπου 15 λεπτά, για να επιτευχθεί η απαραίτητη εξισορρόπηση. Ποσότητα δείγματος μανιταριού τεμαχίζεται σε πολύ μικρά κομμάτια και μεταφέρεται σε τρυβλίο μέχρι πλήρωσής του έως τη χαραγή του περιέκτη. Στη συνέχεια εισάγεται στην ειδική θέση μέτρησης του οργάνου και παραμένει έως ότου ακουστεί το ηχητικό σήμα που σηματοδοτεί την επίτευξη ισορροπίας εντός του θαλάμου και καταγράφεται η ένδειξη που αναγράφεται στην οθόνη.

### 5.3.2 Μέτρηση ολικών στερεών

Η μέτρηση των ολικών στερεών γίνεται με παραμονή των δειγμάτων στους 70 °C σε φούρνο κενού τύπου *Heraeus Instruments VT 602* (Εικ. 12.). Το δείγμα θερμαίνεται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία (στους 70 °C) και η απώλεια βάρους του χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας σε αυτό. Η περιεκτικότητα σε υγρασία προσδιορίζεται με τη μέτρηση της μάζας του τροφίμου πριν και μετά την απομάκρυνση του νερού με τη μέθοδο της εξάτμισης υπό κενό. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι το νερό έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως από τα άλλα κύρια συστατικά του τροφίμου (λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ανόργανα άλατα). Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο χρόνος που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, μπορεί να προκαλέσει την απομάκρυνση άλλων πτητικών ουσιών του τροφίμου. Ζυγίζεται μικρή ποσότητα δείγματος μανιταριού ( $2 \pm 0.2$  g), σε προζυγισμένο φιαλίδιο ζυγίσεως ή κάψα πορσελάνης, σε αναλυτικό ζυγό 3 δεκαδικών ψηφίων, και τοποθετείται στο φούρνο κενού μέχρι σταθερού βάρους (παραμονή περίπου 24 ώρες). Για το κάθε δείγμα

έγιναν δύο επαναλήψεις για περισσότερη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζεται εκ νέου. Η ελάττωση του βάρους αποτελεί την απώλεια σε νερό και έτσι υπολογίζεται η % περιεκτικότητα του εκάστοτε δείγματος σε νερό.



**Εικόνα 15:** Φούρνος κενού, Heraeus Instruments VT 602.

Από την υπολογισθείσα υγρασία και το βάρος του δείγματος πριν και μετά την επεξεργασία, προσδιορίζονται οι βασικές παράμετροι της ωσμωτικής αφυδάτωσης, αυτές της απώλειας ύδατος (WL) και της πρόσληψης στερεών (SG), βάσει των σχέσεων:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \frac{\text{g νερού}}{\text{g αρχικής ξηράς ουσίας}} \quad (6)$$

$$SG = \frac{(m - m_0)}{m_0} \frac{\text{g ολικών στερεών}}{\text{g αρχικής ξηράς ουσίας}} \quad (7)$$

Όπου  $M_0$  η αρχική μάζα φρέσκου τροφίμου,  $m_0$  το ξηρό βάρος του φρέσκου τροφίμου,  $M$  η μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής επεξεργασίας και  $m$  η ξηρή μάζα του τροφίμου μετά από χρόνο  $t$  ωσμωτικής επεξεργασίας.

### 5.3.3 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών ( $^{\circ}\text{Brix}$ )

Σκοπός της μέτρησης των διαλυτών στερεών συστατικών είναι η αξιολόγηση της σταδιακής πρόσληψης σακχάρων κατά τη διεργασία της ώσμωσης από το δείγμα του μανιταριού, αλλά και η σταδιακή αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος. Η μέτρηση έγινε με το διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO). Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας του πρίσματος του οργάνου και βαθμονόμησή του με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια τοποθετείται μία σταγόνα από το διάλυμα στο πρίσμα, κλείνει το καπάκι και έπειτα

παρατηρείται μέσα από την κλίμακα η τιμή των βαθμών Brix.



**Εικόνα 16:** Διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO).

#### 5.3.4 Προσδιορισμός χρώματος (χρωματόμετρο)

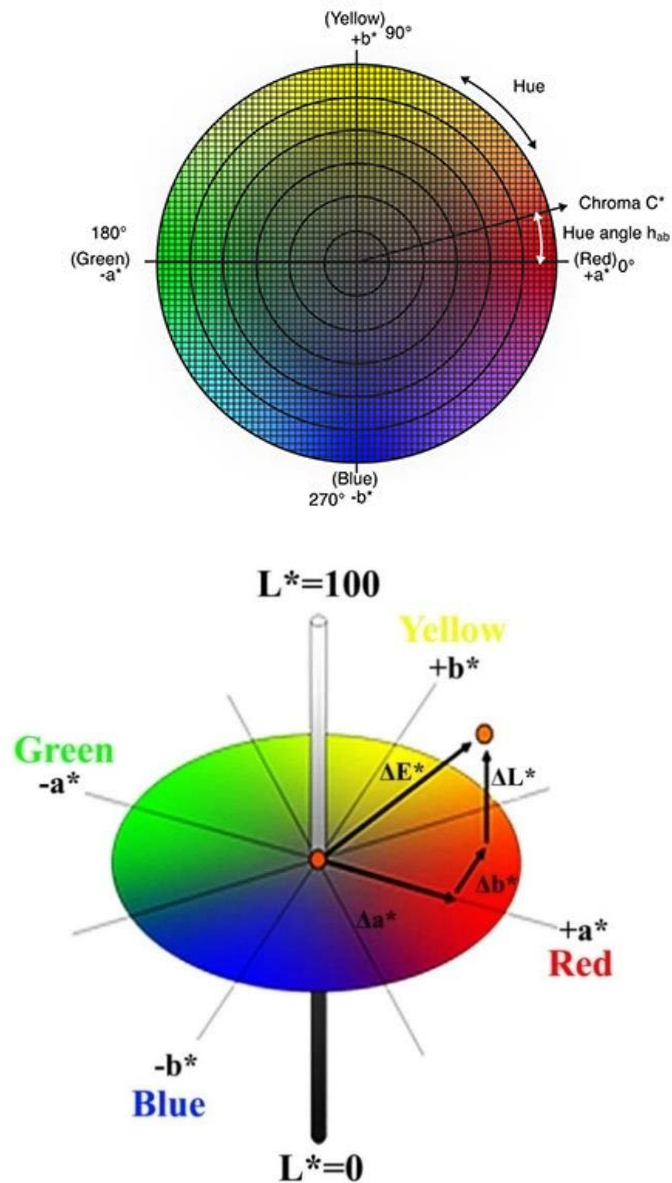
Το χρώμα των μανιταριών μετρήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής KONICA MINOLTA (βλ. Εικόνα 14), με χρήση των παραμέτρων CIE (CIE, 1978).



**Εικόνα 17:** Χρωματόμετρο KONICA MINOLTA.

Το σύστημα C.I.E. Lab χρησιμοποιεί τις παραμέτρους L, a και b για τον χρωματικό προσδιορισμό κάθε δείγματος, οι οποίες απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Το L συσχετίζεται άμεσα με την τιμή της φωτεινότητας και μεταβάλλεται σε κατακόρυφο άξονα. Σε οριζόντιο επίπεδο, το a καθορίζει τα χρώματα κόκκινο και πράσινο. Οι θετικές τιμές του  $a^*$  αντιστοιχούν σε αποχρώσεις του κόκκινου και

οι αρνητικές τιμές του, σε αποχρώσεις του πράσινου. Οι θετικές τιμές του  $b^*$  αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου ενώ οι αρνητικές τιμές του, αποχρώσεις του μπλε (Χατζής, 2015).



**Εικόνα 18:** Σχήματα απεικόνισης των αξόνων μέτρησης των παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  του συστήματος CIE Lab

Για τον προσδιορισμό της συνολικής μεταβολής χρώματος, μετρήθηκε ο δείκτης  $\Delta E$ , ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_o)^2 + (a - a_o)^2 + (b - b_o)^2} \quad (8),$$

Όπου ο δείκτης 'ο' αντιστοιχεί σε μετρήσεις στο χρόνο μηδέν (προ ώσμωσης).

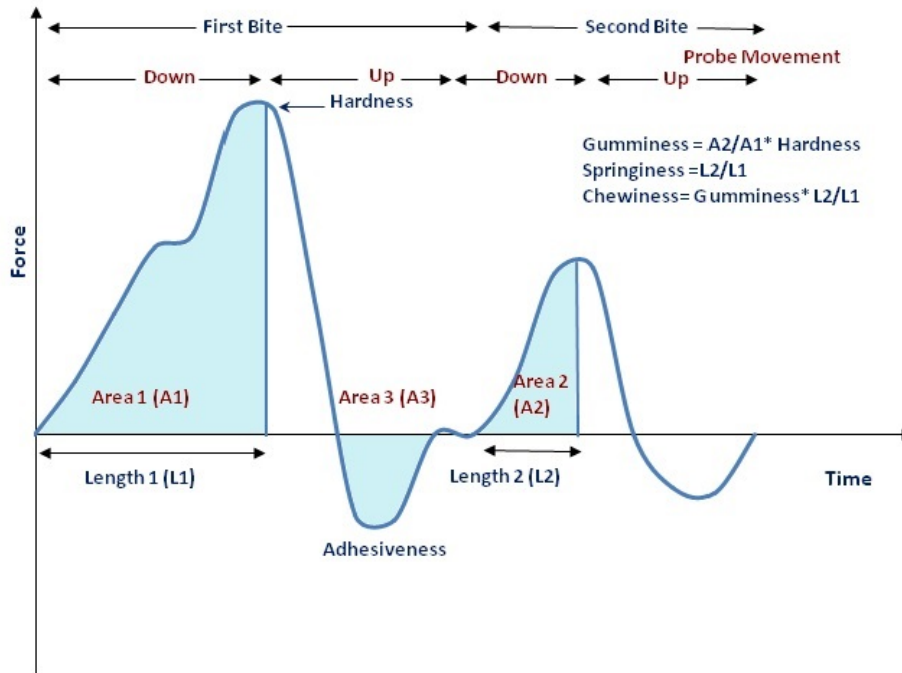
### 5.3.5 Ανάλυση υφής

Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus (Stable Micro Systems Ltd., UK) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.



**Εικόνα 19:** .Αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος *Texture Profile Analysis (TPA)* στην οποία το κάθε δείγμα υποβάλλεται σε δύο συμπίεσεις οι οποίες προσομοιάζουν τη διαδικασία της μάσησης. Μεταξύ των δύο συμπίεσεων παρεμβάλλεται ο χρόνος παραμονής. Στο λογισμικό εισάγονται κατάλληλα οι απαραίτητες παράμετροι όπως η ταχύτητα καθόδου, το βάθος διείδυσης από την επιφάνεια του δείγματος, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα χαρακτηριστικά. Τα δείγματα συμπίεστηκαν με αλουμινένιο κύλινδρο διαμέτρου 6 mm. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε ένα διάγραμμα δύναμης-χρόνου με την μορφή του παρακάτω γραφήματος:



**Εικόνα 20:** Χαρακτηριστικό διάγραμμα από τον αναλυτή υφής για τη δοκιμή διπλής συμπίεσης

Από τα γράφημα του αναλυτή προσδιορίζονται οι παρακάτω ιδιότητες για τα δείγματα:

- 1) Σκληρότητα (Hardness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τον πρώτο κύκλο μάσησης.
- 2) Ελαστικότητα (Elasticity): Το πόσο ένα συμπιεσμένο τρόφιμο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο. Η ελαστικότητα δίνεται από το λόγο των μέγιστων δυνάμεων που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου.
- 3) Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Το συγκεκριμένο μέγεθος προσδιορίζεται από το εμβαδόν που σχηματίζεται κάτω από τον άξονα των γ, (A3) όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.
- 4) Προσκολλησιμότητα (Adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια. Η προσκολλησιμότητα υπολογίζεται από το λόγο του θετικού εμβαδού του δεύτερου κύκλου μάσησης προς το αντίστοιχο του πρώτου κύκλου μάσησης.

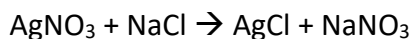
### 5.3.6 Μέθοδος προσδιορισμού αλατότητας (μέθοδος Mohr)

#### Εξοπλισμός-Αντιδραστήρια:

- Χρωμικό κάλιο  $K_2CrO_4$  (δείκτης)
- Νιτρικός άργυρος  $AgNO_3$  0.1N
- NaOH 0.1M
- Κωνικές και ογκομετρικές φιάλες των 250 ml
- Προχοΐδα
- Σιφώνια του 1 ml και των 50 ml
- Ποτήρια των 200 ml
- Διηθητικά χωνιά και διηθητικό χαρτί

#### Πειραματική διαδικασία

Ζυγίζονται 2 g λευκού μανιταριού, τα οποία πολτοποιούνται και αραιώνονται σε ποτήρι ζέσεως στα 200 ml. Το παραπάνω διάλυμα διηθείται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml και συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό έως την χαραγή. Από το διήθημα που προκύπτει, μεταφέρονται 50 ml σε κωνική των 250 ml και προστίθεται 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου (δείκτη). Ακολουθεί τιτλοδότηση με διάλυμα  $AgNO_3$  0.1N. Το τελικό σημείο είναι η εμφάνιση μόνιμου κόκκινου χρώματος. Ακολουθούν υπολογισμοί με βάση την αντίδραση:



### 5.4 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM)

Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας στη μεταφορά μάζας και σε ποιοτικούς δείκτες κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των μανιταριών, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία RSM. Η στατιστική αυτή προσέγγιση χρησιμοποιείται συχνά ώστε να υπολογιστεί η «επιφάνεια», ή διαφορετικά η μαθηματική σχέση μεταξύ της απόκρισης και των παραμέτρων που επηρεάζουν την τιμή της απόκρισης. Οι παράμετροι της διεργασίας που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή είναι η συγκέντρωση της γλυκερόλης (X1), η θερμοκρασία της διεργασίας (X2) και η διάρκεια της ώσμωσης (X3), οι οποίες θεωρήθηκαν οι πιο βασικές παράμετροι της διαδικασίας. Με βάση τις αρχές της RSM, χρησιμοποιείται μια μαθηματική εξίσωση δεύτερου βαθμού (πολυώνυμο) προκειμένου να προσδιορισθούν οι αλληλεπιδράσεις των παραμέτρων κατά την διάρκεια της ώσμωσης. Η εξίσωση αυτή



περιγράφει τις επιλεγμένες αποκρίσεις Y (εδώ ως αποκρίσεις χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι δείκτες που μετρήθηκαν κατά την ώσμωση, δηλαδή η ενεργότητα ύδατος, η υγρασία, τα WL, SG, Brix, παράμετροι χρώματος, υφής κλπ) ως συνάρτηση των παραμέτρων της διεργασίας (X1-X2-X3).

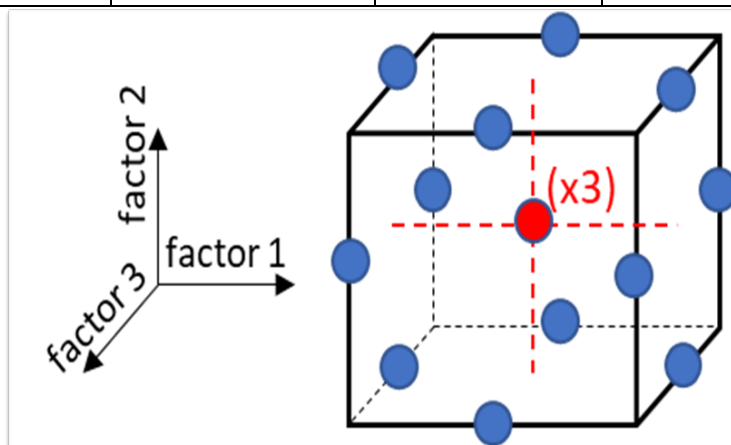
$$Y = a_0 + \sum a_i X_i + \sum a_{ii} X_i^2 + \sum a_{ij} X_i X_j \quad (9)$$

Όπου  $a_0$  είναι η σταθερά,  $a_i$  οι γραμμικές (α' βαθμού) και  $a_{ii}$  οι β' βαθμού και  $a_{ij}$  οι συντελεστές αλληλεπίδρασης των παραγόντων. Η εξίσωση περιλαμβάνει  $p = [(3+1)(3+2)]/2 = 10$  παραμέτρους προς προσδιορισμό που αντιστοιχούν στις κύριες επιδράσεις ( $a_1, a_2, a_3$ ), στους συντελεστές για την επίδραση στο β' βαθμό ( $a_{11}, a_{22}, a_{33}$ ) και τους συντελεστές για την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο παραγόντων ( $a_{ij}$ ). Εφόσον για τη στατιστική αυτή μελέτη απαιτούνται τρία επίπεδα τιμών που να ισαπέχουν, ως πειραματικός σχεδιασμός επιλέχθηκε ο σχεδιασμός, ο οποίος απαιτεί τη διεξαγωγή 15 σειρών πειραμάτων, όπως φαίνεται από τον ακόλουθο σχήμα και το σχήμα του σχεδιασμού Box–Behnken.



**Πίνακας 5.1 :** Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας και ο πειραματικός σχεδιασμός, σύμφωνα με το πρότυπο του Box–Behnken design.

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση γλυκερόλης (%)	Θερμοκρασία (°C)	OD χρόνος (min)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
High	50	50	120	+1	+1	+1
Center	40	40	90	0	0	0
Low	30	30	60	-1	-1	-1
Standard order	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
1	1	0	1			
2	-1	1	0			
3	0	-1	1			
4	0	1	-1			
5	1	-1	0			
6	1	0	-1			
7	-1	0	1			
8	-1	0	-1			
9	-1	-1	0			
10	0	0	0			
11	0	0	0			
12	0	1	1			
13	1	1	0			
14	0	-1	-1			
15	0	0	0			



**Εικόνα 21:** Σχήμα πειραματικού σχεδιασμού Box–Behnken.

Οι μεταβλητές που εμφανίζονται στους γραμμικούς όρους αντιπροσωπεύουν τις

συντεταγμένες της προβλεπόμενης μέγιστης τιμής, εκείνες σε τετραγωνικούς όρους την καμπυλότητα της επιφάνειας και τις διπαραγοντικές διασταυρούμενες μεταβλητές τις κατευθύνσεις των αξόνων του γεωμετρικού σχήματος που λαμβάνονται με τομή της επιφάνειας. Μια θετική τιμή του συντελεστή στο πολυώνυμο β' βαθμού δείχνει ένα αποτέλεσμα που προάγει την απόκριση και μια αρνητική τιμή μια αντίθετη σχέση μεταξύ του παράγοντα της διεργασίας και της απόκρισης. Η αξία και η δυνατότητα χρήσης αυτών των μοντέλων για πρόβλεψη των τιμών απόκρισης εξαρτάται στενά από τους συντελεστές διακύμανσης. Μόλις υπολογιστούν οι συντελεστές των πολυωνυμικών εξισώσεων για όλες τις αποκρίσεις και το μοντέλο έχει κατασκευαστεί, είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να εκτιμηθεί πόσο καλά το μοντέλο αντιπροσωπεύει τα δεδομένα. Για το σκοπό αυτό, η σχετική τιμή  $p$  χρησιμοποιείται συνήθως ως δείκτης στατιστικής σημασίας.

Για καλύτερη απεικόνιση των μεμονωμένων (γραμμικών ή τετραγωνικών) και συνδυασμένων επιδράσεων των ανεξάρτητων μεταβλητών στους δείκτες ποιότητας των δειγμάτων μανιταριού που μετρήθηκαν, κατασκευάστηκαν τρισδιάστατα γραφήματα όπου οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές αφέθηκαν να ποικίλουν εντός του εύρους που δοκιμάστηκε, ενώ η τρίτη μεταβλητή παρέμενε σταθερή και ίση με την κεντρική τιμή του πειραματικού σχεδιασμού.

Όσον αφορά στη Μεθοδολογία Επιφάνειας Απόκρισης, η βελτιστοποίηση πολλαπλών αποκρίσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας κριτήρια (συναρτήσεις) αποδεκτότητας, μέσω της προσέγγισης Desirability Functions (Derringer et al., 1980, Costa et al., 2014, Costa et al., 2011). Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, σε κάθε απόκριση αντιστοιχεί μια συνάρτηση αποδοχής, όπου η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Αυτή η συνάρτηση ορίζεται με διαφορετικό τρόπο, με βάση τον στόχο της απόκρισης. Εάν ο στόχος της διαδικασίας που ακολουθήθηκε (εδώ OD του μανιταριού) είναι η μεγιστοποίηση της συγκεκριμένης απόκρισης, όπως στην περίπτωση της μεταβολής της φωτεινότητας  $L^*/L^*_0$  μανιταριού, τότε ορίζεται ως εξής:

$$d_{1,i} = \begin{cases} 0 & y_i < L \\ \left(\frac{y_i - L}{U - L}\right) & L \leq y_i \leq U \\ 1 & y_i > U \end{cases} \quad (10)$$

όπου το  $U$  αντιπροσωπεύει την τιμή-στόχο της απόκρισης  $i^{\text{th}}$  (εδώ ισούται με 1) και το  $L$  αντιπροσωπεύει την αποδεκτή χαμηλότερη οριακή τιμή για αυτήν την απόκριση (εδώ ισούται με 0.8, με βάση οργανοληπτικές παρατηρήσεις της εμφάνισης των δειγμάτων).

Εάν η απόκριση είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί, όπως στην περίπτωση της ενεργότητας νερού ή της συνολικής μεταβολής χρώματος  $\Delta E$ , το  $d_i$  ορίζεται ως εξής:

$$d_{2,i} = \begin{cases} 1 & y_i < L \\ \left(\frac{U - y_i}{U - L}\right) & L \leq y_i \leq U \\ 0 & y_i > U \end{cases} \quad (11)$$

όπου  $L$  και  $U$  είναι το κατώτερο και ανώτερο όριο των ανεξάρτητων μεταβλητών, αντίστοιχα. Στην περίπτωσή μας, όταν η απόκριση αφορά στην αλλαγή χρώματος  $\Delta E$ , το  $L$  ισούται με 0 και το  $U$  ορίζεται στην σταθερή τιμή του 10, που καθορίζεται από μια προκαταρκτική αισθητηριακή δοκιμή ως το όριο αποδοχής, όσον αφορά στην τροποποίηση χρώματος. Όταν η απόκριση αφορά στην ενεργότητα ύδατος, τότε το  $L$  ισούται με το  $a_{w,\min}$  και το  $U$  ορίζεται στην σταθερή τιμή του 1.

Μόλις οριστεί μια συνάρτηση αποδοχής για κάθε μία από τις αποκρίσεις  $i$  για τα επιλεγμένα κριτήρια (ελαχιστοποίηση αλλαγής χρώματος και ενεργότητας ύδατος/μεγιστοποίηση διατήρησης της φωτεινότητας), επιτυγχάνεται μια συνολική συνάρτηση αποδοχής ως εξής:

$$d_{\text{overall},i} = (d_{1,i}^{r_1} \cdot d_{2,i}^{r_2})^{1/(r_1+r_2)} \quad (12)$$

όπου τα  $r_1$  και  $r_2$  αντιπροσωπεύουν τη σημασία κάθε απόκρισης. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του  $r_i$ , τόσο πιο σημαντική είναι η συγκεκριμένη απόκριση σε σχέση με τις άλλες αποκρίσεις. Ο στόχος είναι να εντοπιστούν οι παράμετροι της διεργασίας (εδώ παραμέτροι ωσμωτικής αφυδάτωσης, δηλαδή θερμοκρασία OD, συγκέντρωση OD και χρόνο ώσμωσης) που δίνουν τη μέγιστη τιμή του  $d_{\text{overall}}$ . Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η επιλογή των κριτηρίων αποδοχής δεν περιορίζει την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Για παράδειγμα, αντί της ενεργότητας ύδατος και των παραγόντων αλλαγής χρώματος, θα μπορούσε εναλλακτικά να επιλεγεί μια αυξημένη πρόσληψη στερεών ή διατήρηση της σκληρότητας, εάν ο στόχος ήταν

η παραγωγή ενός σακχαρωμένου ή παστού προϊόντος. Ο πειραματικός σχεδιασμός Box–Behnken, η κατασκευή των πολυωνύμων β' βαθμού και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας με τη βοήθεια των κριτηρίων αποδοχής έγινε με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου Minitab® (DOE-Response Surface application/ Desirability Functions). Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης (τιμές παραμέτρων της διεργασίας) επαληθεύτηκαν με ανεξάρτητα πειράματα ώσμωσης σε δείγματα μανιταριού και αξιολογήθηκε η ποιότητα των προβλέψεων των πολυωνυμικών εξισώσεων.

## Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα & Συζήτηση

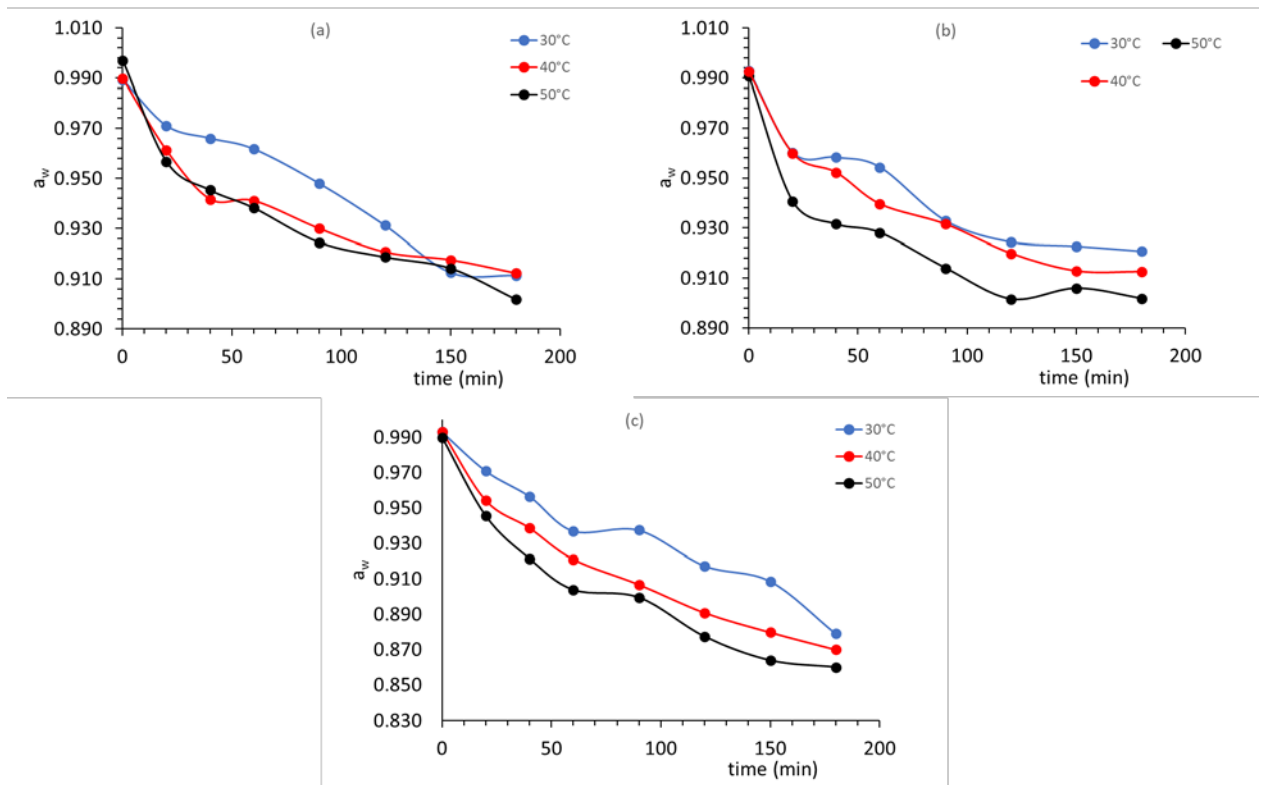
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα βασικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

### 6.1 Κινητική μελέτης ωσμωτικής αφυδάτωσης λευκού μανιταριού

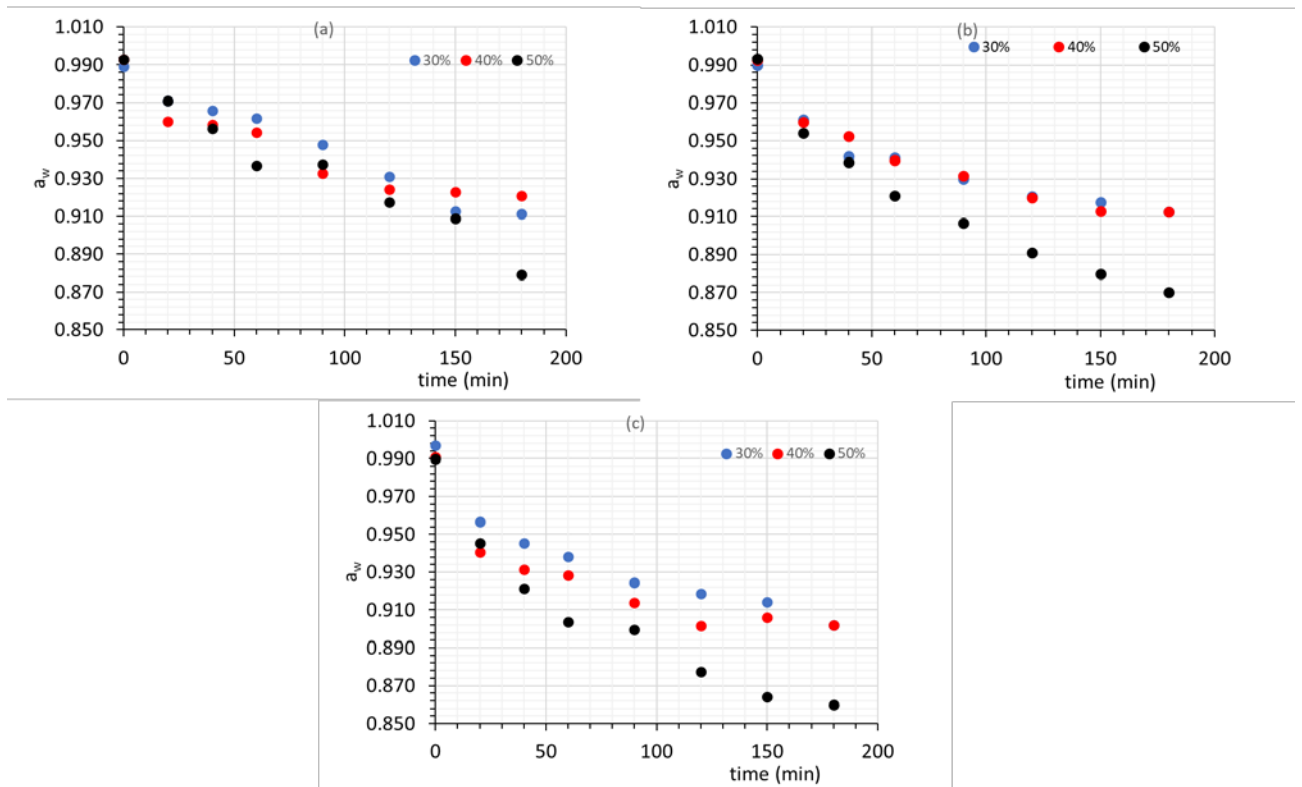
Πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης σε τεμαχισμένο λευκό μανιτάρι, κατά το οποίο έγινε πειραματικός προσδιορισμός των τιμών απώλειας ύδατος (Water Loss, WL) και πρόσληψης στερεών (Solid Gain, SG), της μεταβολής της ενεργότητας ύδατος, των παραμέτρων χρώματος και της υφής (σκληρότητας), και των διαλυτών στερεών ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) του ωσμωτικού διαλύματος. Βασικός στόχος της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η επίδραση διαφορετικών παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης (συγκέντρωση γλυκερόλης, θερμοκρασία και χρόνος εμβάπτισης) στη διεργασία και να βρεθούν, μέσω της μεθοδολογίας RSM, οι βέλτιστες συνθήκες όπου η επεξεργασία δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα (σταθερότερο προϊόν, με καλύτερη διατήρηση του χρώματος, προοριζόμενο ενδεχομένως για μετέπειτα συντήρηση υπό ψύξη ή κατάψυξη). Μελετήθηκαν διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης (30-40 και 50% κ.β.) και διαφορετικές θερμοκρασίες (30, 40 και 50°C) για συνολική διάρκεια ώσμωσης τα 180 min.

Στις παρακάτω ενότητες θα παρουσιαστεί η μεταβολή κάθε δείκτη με δύο εναλλακτικούς τρόπους, δηλαδή με σταθερή τη συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου (γλυκερόλης) και με μεταβολή της θερμοκρασίας ώσμωσης, είτε με σταθερή τη θερμοκρασία ώσμωσης και μεταβολή της συγκέντρωσης γλυκερόλης, προκειμένου να είναι δυνατή η διερεύνηση της επίδρασης κάθε παράγοντα ξεχωριστά.

#### 6.1.1 Ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων λευκού μανιταριού



Γράφημα 5.1.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης (α) 30% κ.β. (β) 40% κ.β. και (γ) 50% κ.β.



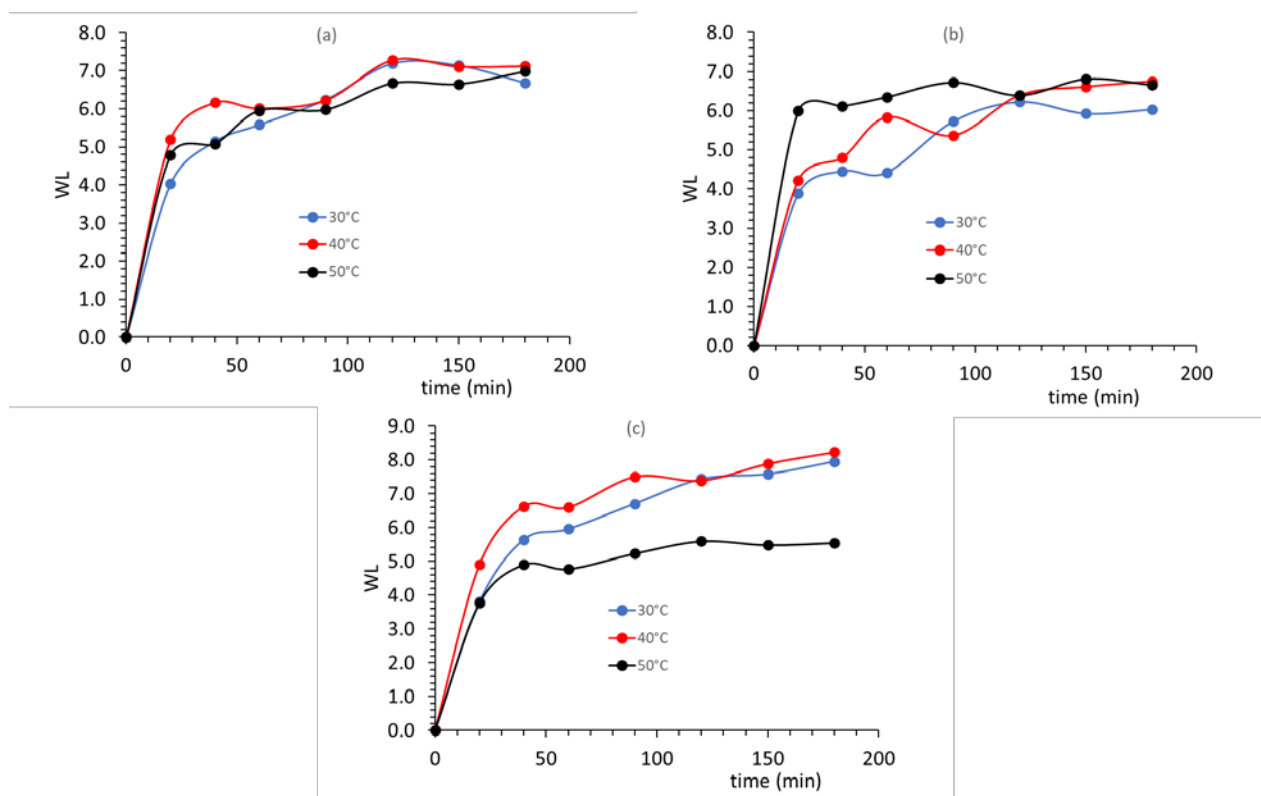
Γράφημα 6.2.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (α) 30°C (β) 40°C και (γ) 50°C.

Η ενεργότητα ύδατος όλων των δειγμάτων μειώνεται με το χρόνο, με μεγαλύτερο ρυθμό στα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στις πιο έντονες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία 50°C και συγκέντρωσης γλυκερόλης 50%.

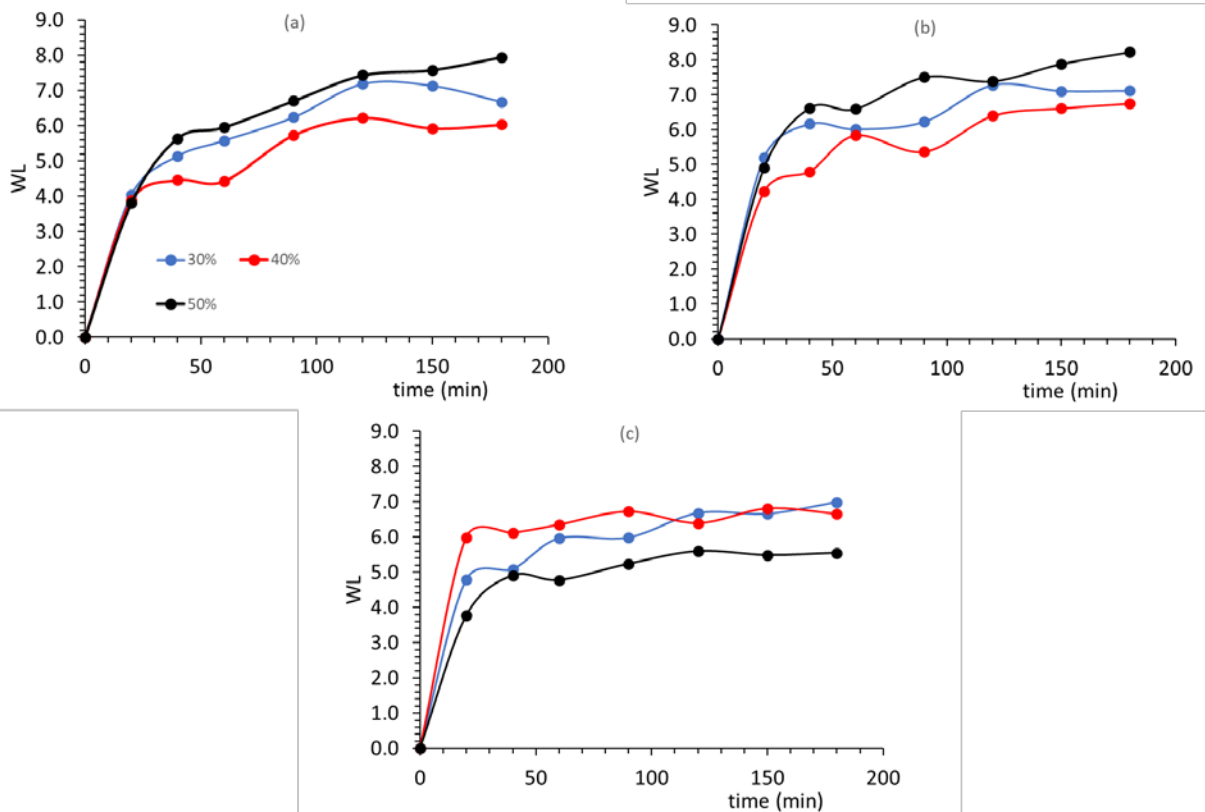
Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα η ενεργότητα νερού των δειγμάτων παρουσιάζει σημαντική μείωση με την πάροδο του χρόνου. Είναι φανερό ότι επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του διαλύματος σε γλυκερόλη και συγκεκριμένα φαίνεται ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις ο ρυθμός που ελαττώνεται η ενεργότητα ύδατος είναι μεγαλύτερος. Συνεπώς ο ρυθμός είναι μεγαλύτερος στις πιο έντονες συνθήκες.

Συμφωνεί με Gurta et al., 2015 που έδειξε ότι η ενεργότητα του νερού μειώνεται με αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυτών στερεών του διαλύματος.

### 6.1.2 Απώλεια νερού των δειγμάτων λευκού μανιταριού



Γράφημα 6.3.: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης (a) 30% κ.β. (b) 40% κ.β. και (c) 50% κ.β.



Γράφημα 6.4.: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

Η απώλεια νερού όλων των δειγμάτων ενισχύεται με το χρόνο, με μεγαλύτερο ρυθμό στα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στις πιο έντονες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία 50°C και συγκέντρωσης γλυκερόλης 50%.

Βλέπουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στη απώλεια νερού κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τη γενική βιβλιογραφία (συμφωνεί όμως με Mehta et al., 2018, που δε βρήκε τη θερμοκρασία να παίζει σημαντικό ρόλο σε αντίθεση με συγκέντρωση και χρόνο). Από την άλλη μεριά, οι Mehta et al., 2013 έδειξαν ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες υπήρχε μεγαλύτερος ρυθμός απώλειας νερού λόγω τροποποίησης της κυτταρικής μεμβράνης και μείωσης του ιξώδους του ωσμωτικού διαλύματος.

Βλέπουμε επίσης ότι στην αρχή της διεργασίας η απώλεια νερού φαίνεται να μεταβάλλεται με μεγάλο ρυθμό ενώ μετά τα 120 λεπτά τείνει να σταθεροποιηθεί. Συμφωνεί με Mehta et al., 2013 που βρήκε ότι η απώλεια νερού είναι έντονη στην αρχή της ώσμωσης και έπειτα ο ρυθμός μειώνεται. Αυτό συμβαίνει στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας λόγω της έντονης διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης στη αρχή της διεργασίας.

Βλέπουμε επίσης πως η απώλεια νερού ενισχύεται με το χρόνο με μεγαλύτερο ρυθμό στα δείγματα με μεγαλύτερη συγκέντρωση γλυκερόλης που συμφωνεί με τους Gurta et al., 2015 και Mehta et al., 2013 και González-Pérez et al. 2019 που έδειξαν πως μεγαλύτερη απώλεια νερού υπήρχε στα δείγματα με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών και σε διεργασίες που διήρκεσαν περισσότερη ώρα. Η αυξημένη μεταφορά σακχάρων προκαλεί ένα πρήξιμο στη μεμβράνη που αυξάνει τη διαπερατότητα της. Άρα με χρήση διαλύματος μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε διαλυτά στερεά έχουμε πιο έντονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των 50 βαθμών του δείγματος συγκέντρωσης γλυκερόλης

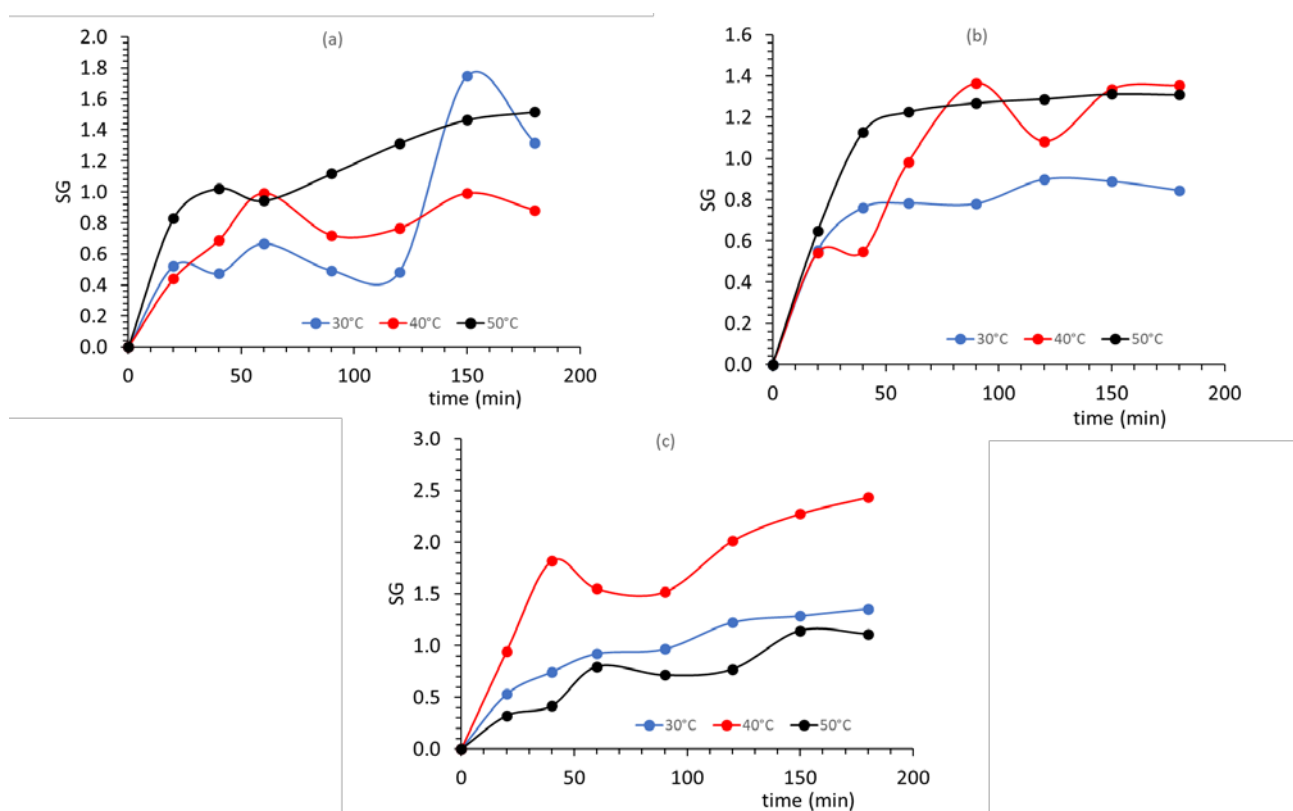


50% η απώλεια νερού είναι μικρότερη συγκριτικά με τα άλλα δείγματα. Αυτό είναι κάτι που δεν περιμέναμε και ενώ δεν μπορεί να αποδοθεί στην έντονη θερμοκρασία (επειδή όπως ξέρουμε από τη βιβλιογραφία η υψηλότερη θερμοκρασία ενισχύει τη διαπερατότητα των μεμβρανών και χαμηλώνει το ιξώδες του διαλύματος οπότε ενισχύονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας) ίσως ευθύνεται η υψηλή συγκέντρωση γλυκερόλης.

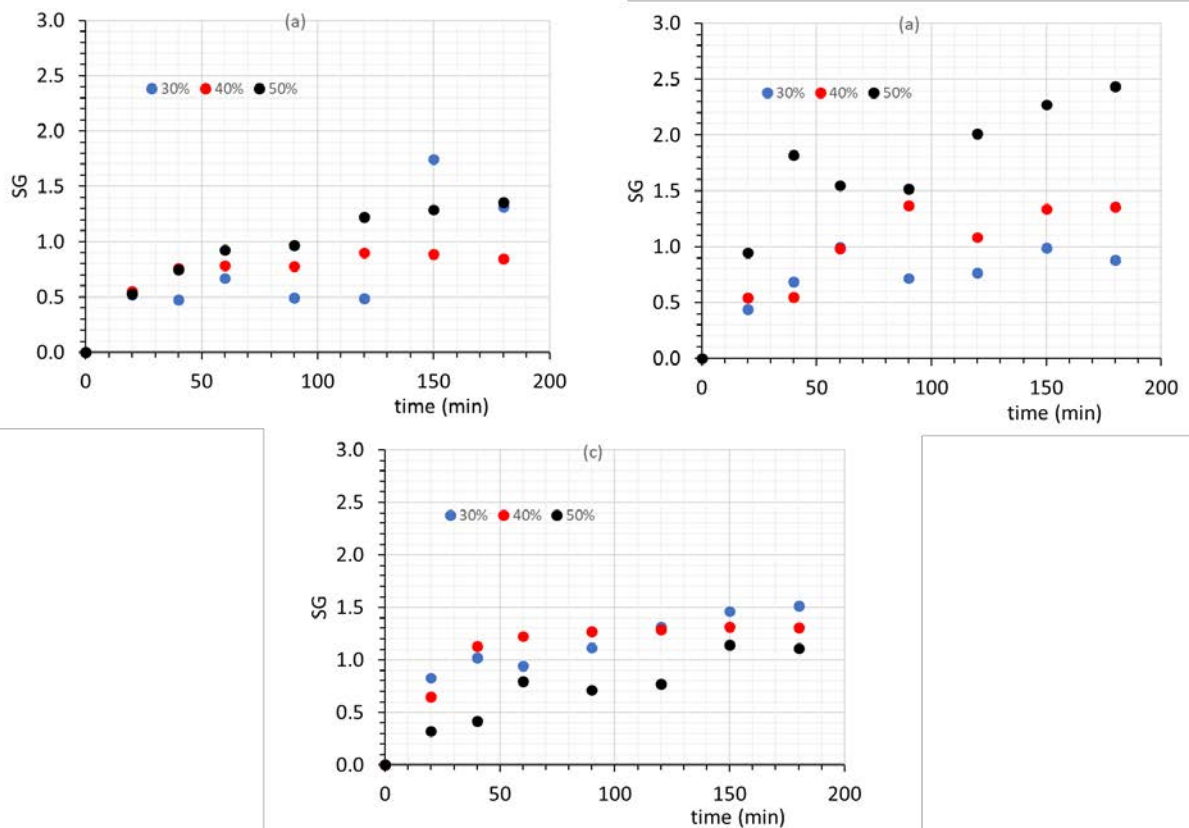
Μελέτες έχουν δείξει ότι τα σάκχαρα συγκεντρώνονται σε ένα λεπτό στρώμα κάτω από την επιφάνεια του τροφίμου κάνοντας πιο συμπαγή και άκαμπτους τους ιστούς (case hardening effect) (Phisut, 2012) και εμποδίζοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας οπότε ίσως η υψηλή συγκέντρωση γλυκερόλης προκάλεσε ένα τέτοιο φαινόμενο και εμπόδισε την απώλεια νερού.

Ο Phisut (2012), αναφέρει πως υψηλά διαλύματα υδατανθράκων δημιουργούν προβλήματα όπως το ότι κάνουν τα δείγματα να επιπλέουν εμποδίζοντας την επαφή μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος προκαλώντας μείωση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Μία λύση σε αυτό ίσως θα ήταν η ανάδευση του διαλύματος καθ' όλη τη διεργασία. Ακόμα λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης του διαλύματος ίσως το υψηλό ιξώδες εμποδίζει τα φαινόμενα μεταφοράς.

### 6.1.3 Πρόσληψη στερεών των δειγμάτων λευκού μανιταριού



Γράφημα 6.5.: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης (a) 30% κ.β. (b) 40% κ.β. και (c) 50% κ.β.



Γράφημα 6.6.: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

Η πρόσληψη στερεών όλων των δειγμάτων ενισχύεται με το χρόνο, με μεγαλύτερο ρυθμό στα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στις πιο έντονες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία 50°C και συγκέντρωσης γλυκερόλης 50%.

Συμφωνεί με τους Gurta et al., 2015 που έδειξαν ότι με αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών του διαλύματος υπήρχε αύξηση πρόσληψης στερεών. Επίσης, συμφωνεί και με τους Mehta et al., 2013 που έδειξαν ότι η συγκέντρωση έπαιξε το πιο σημαντικό ρόλο ακολουθούμενη από το χρόνο της διεργασίας ενώ μικρότερη σημασία είχε η θερμοκρασία. Συμφωνεί και με τους González-Pérez et al., 2019 που έδειξαν ότι αύξηση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης ωσμωτικού μέσου δίνουν μεγαλύτερο ρυθμό πρόσληψης στερεών. Βέβαια αναφέρεται στη βιβλιογραφία ότι η θερμοκρασία μπορεί να μην παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη στερεών όπως παίζει στην απώλεια νερού, αλλά σε θερμοκρασίες άνω των 50 βαθμών η πρόσληψη στερεών αυξάνει σημαντικά. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην παραμόρφωση της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα την τροποποίηση της επιλεκτικής διαπερατότητας.

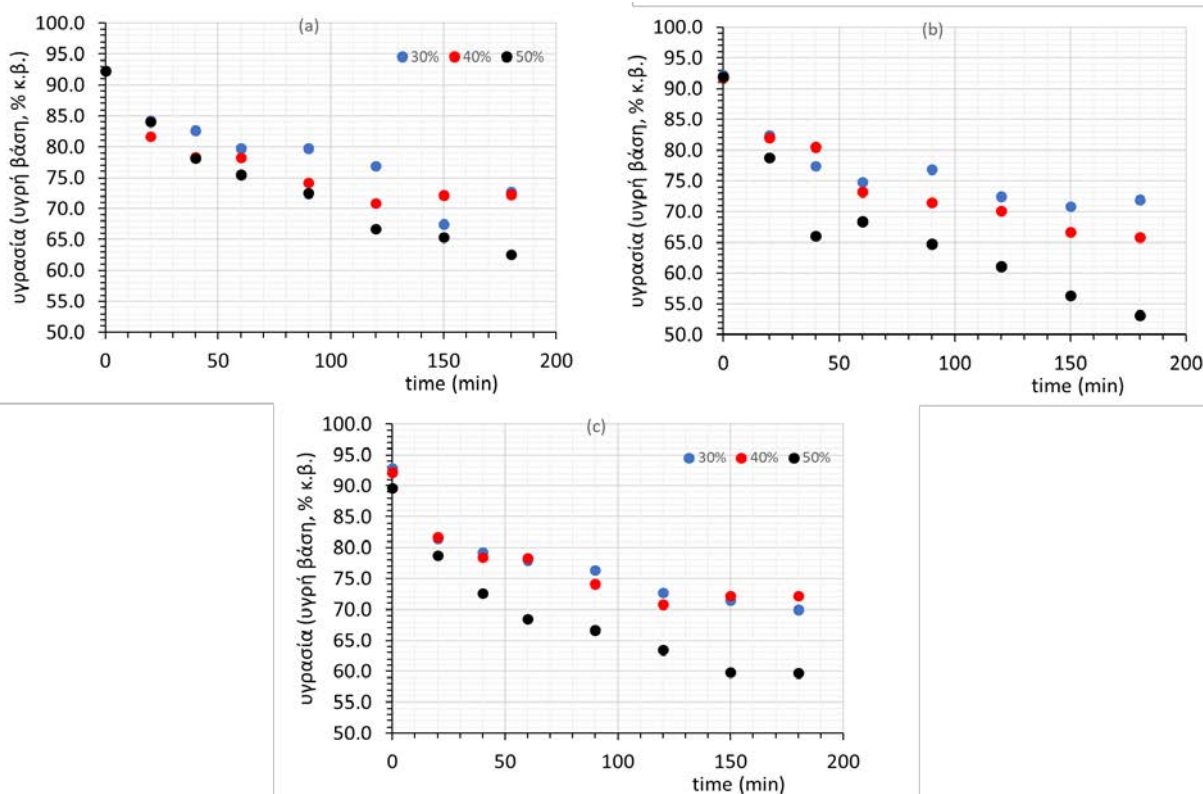
Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση των 50 βαθμών του δείγματος συγκέντρωσης γλυκερόλης 50% η πρόσληψη στερεών είναι μικρότερη συγκριτικά με τα άλλα δείγματα. Αυτό είναι κάτι που δεν περιμέναμε και ενώ δεν μπορεί να αποδοθεί στην έντονη θερμοκρασία (επειδή όπως ξέρουμε από τη βιβλιογραφία η υψηλότερη θερμοκρασία ενισχύει τη διαπερατότητα των μεμβρανών και χαμηλώνει το ιξώδες του διαλύματος οπότε ενισχύονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας) ίσως ευθύνεται η υψηλή συγκέντρωση γλυκερόλης. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα σάκχαρα συγκεντρώνονται σε ένα λεπτό στρώμα κάτω από την

επιφάνεια του τροφίμου κάνοντας πιο συμπαγής και άκαμπτους τους ιστούς (case hardening effect) (Phisut, 2012) και εμποδίζοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας οπότε ίσως η υψηλή συγκέντρωση γλυκερόλης προκάλεσε ένα τέτοιο φαινόμενο και εμπόδισε την πρόσληψη στερεών.

Ο Phisut (2012), αναφέρει πως υψηλά διαλύματα υδατανθράκων δημιουργούν προβλήματα όπως το ότι κάνουν τα δείγματα να επιπλέουν εμποδίζοντας την επαφή μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος προκαλώντας μείωση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Μία λύση σε αυτό ίσως θα ήταν η ανάδευση του διαλύματος καθ' όλη τη διεργασία. Ακόμα λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης του διαλύματος ίσως το υψηλό ιξώδες εμποδίζει τα φαινόμενα μεταφοράς.

#### 6.1.4 Υγρασία των δειγμάτων λευκού μανιταριού

Στις επόμενες παραμέτρους, η σύγκριση έχει γίνει ως προς την συγκέντρωση της γλυκερόλης καθώς, από τα προηγούμενα αποτελέσματα, αυτή η παράμετρος φαίνεται ότι επηρέασε περισσότερο τη διαδικασία. Η θερμοκρασία δεν διαφοροποίησε σε τόσο σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα καθώς οι τιμές που εξετάστηκαν ήταν αρκετά κοντινές (30-40-50 °C).



Γράφημα 6.7.: Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

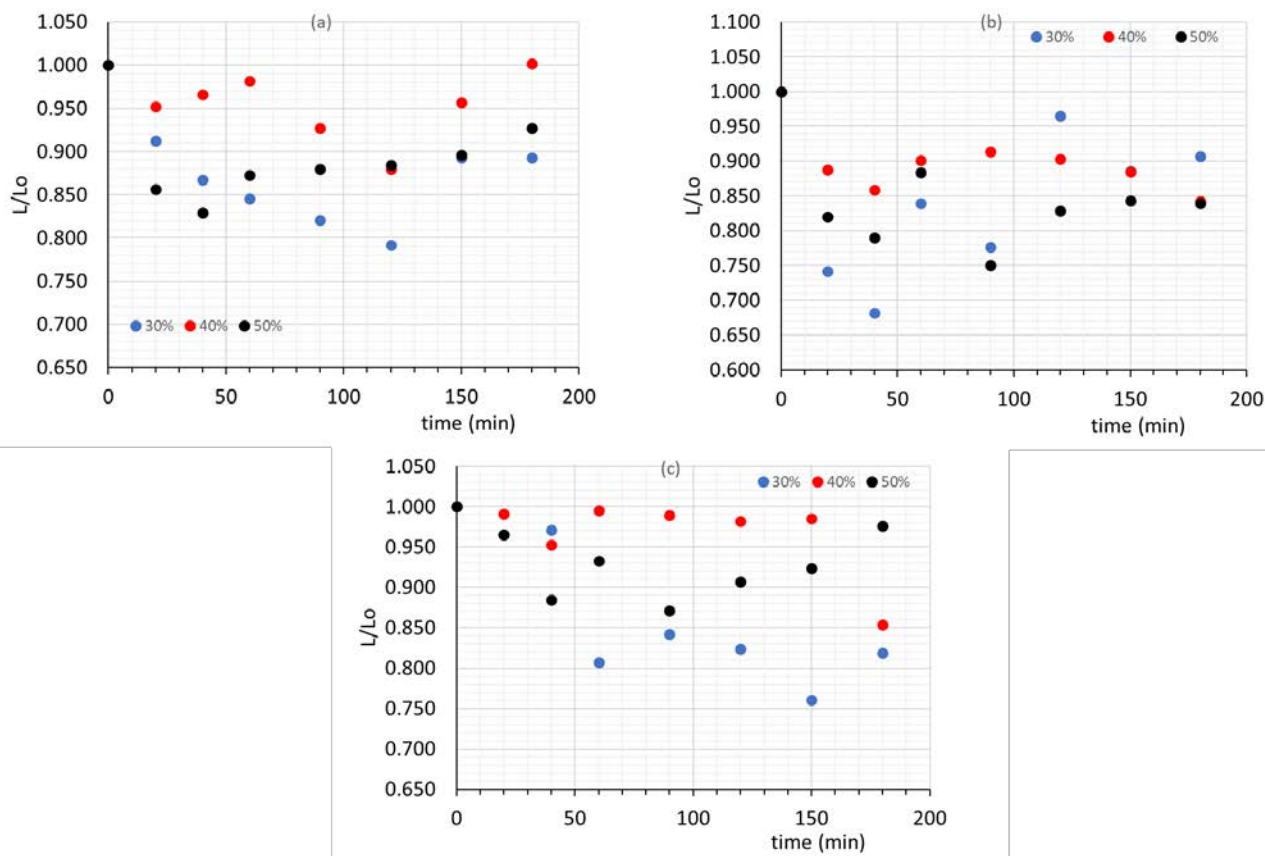
Τα αποτελέσματα της %υγρασίας εμφανίζουν την ίδια εικόνα με αυτά της  $a_w$ . Και στις τρεις θερμοκρασίες τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα με 50% γλυκερόλη, εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές υγρασίας, ενώ τα διαλύματα με 30 και 40% εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές, αλλά κοντά μεταξύ τους.

Συμφωνεί με τα ευρήματα των Gurta et al., 2015 που έδειξαν ότι η θερμοκρασία διεργασίας

επηρεάζει ιδιαίτερα την απώλεια υγρασίας.

## 6.1.5 Μεταβολή του χρώματος λευκού μανιταριού

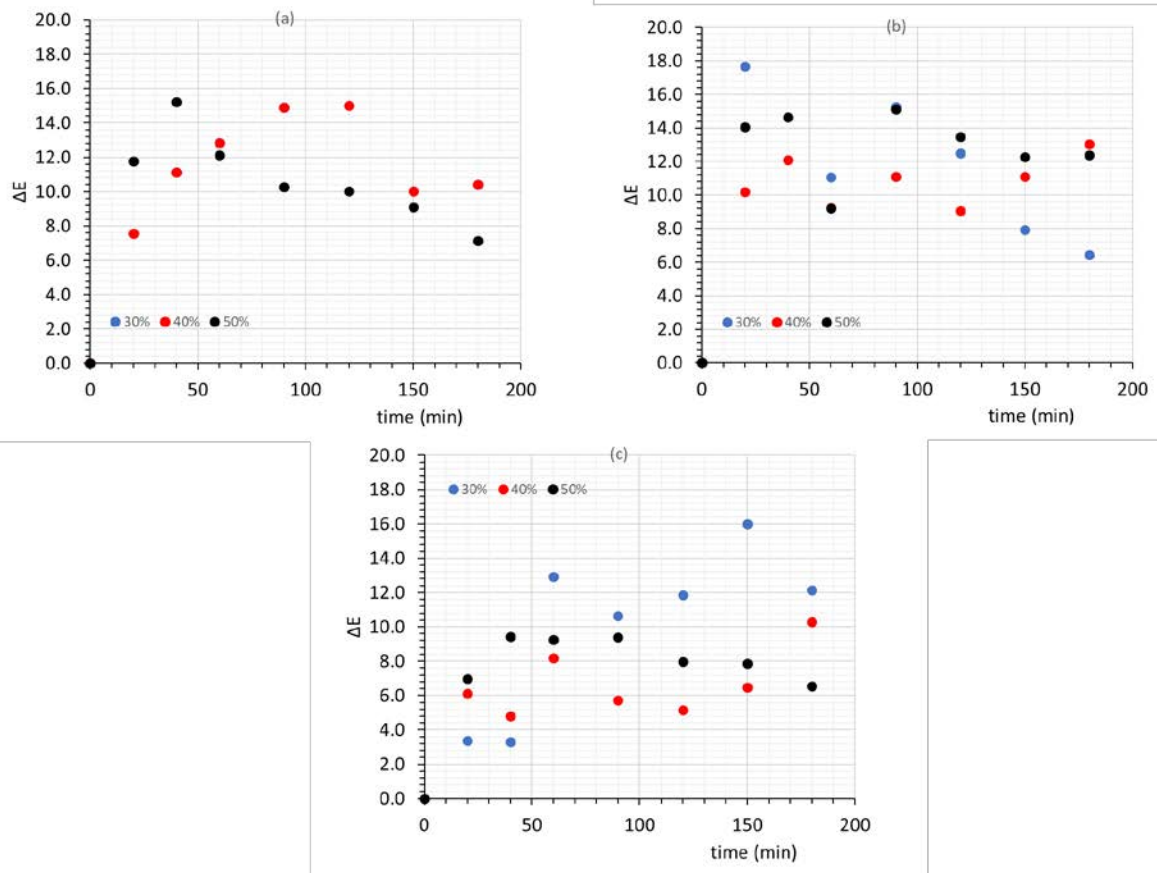
### 6.1.5.1 Μεταβολή της φωτεινότητας



Γράφημα 6.8.: Μεταβολή της φωτεινότητας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της φωτεινότητας των επεξεργασμένων δειγμάτων συγκριτικά με την αρχική φωτεινότητα των νωπών δειγμάτων ( $L/L_0$ ). Με βάση τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει άμεση και εμφανής συσχέτιση της φωτεινότητας των επεξεργασμένων δειγμάτων ούτε με την θερμοκρασία της ώσμωσης, ούτε με τη συγκέντρωση γλυκερόλης, ούτε με τον χρόνο. Στις περισσότερες περιπτώσεις η φωτεινότητα μειώνεται, ενώ σε άλλες παραμένει σταθερή. Επίσης, αρκετά δείγματα εμφανίζουν «σκαμπανεβάσματα». Το γεγονός αυτό, μεταξύ άλλων παραγόντων, ενδέχεται να οφείλεται στην μεγάλη ανομοιομορφία της πρώτης ύλης.

### 6.1.5.2 Μεταβολή του συνολικού χρώματος $\Delta E$

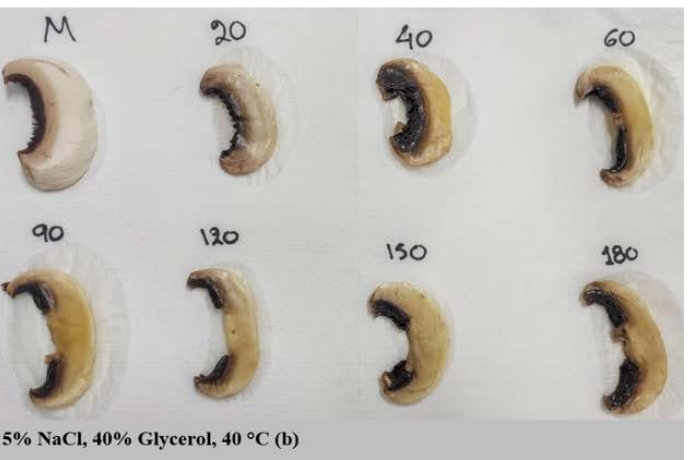
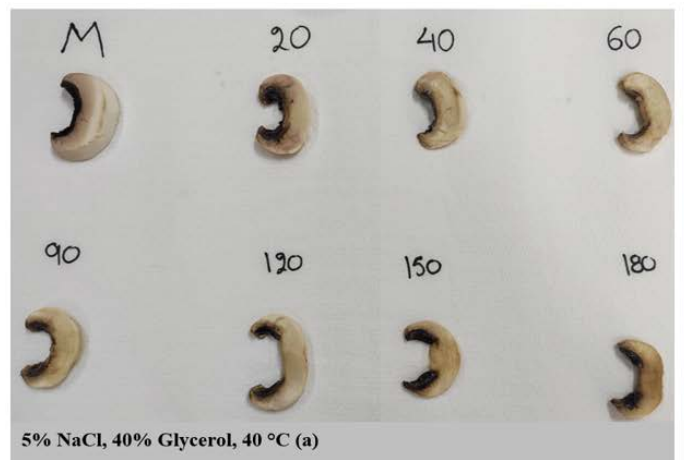
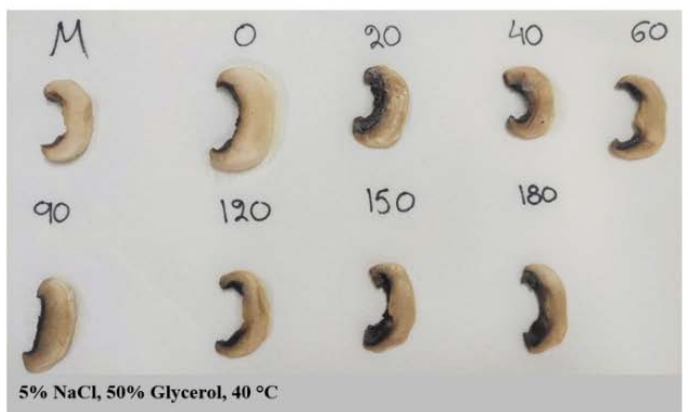
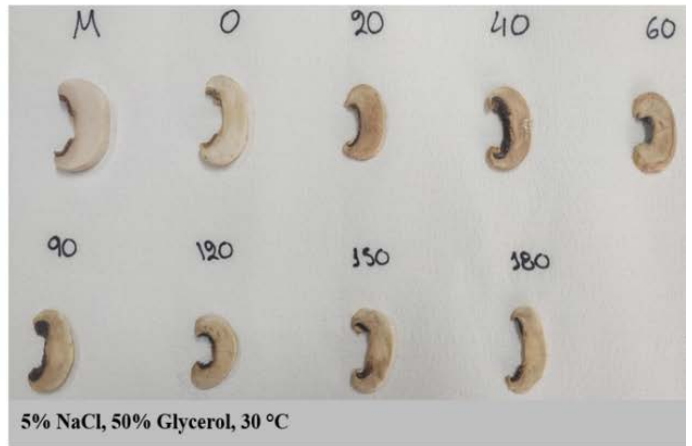


Γράφημα 6.9.: Μεταβολή του συνολικού χρώματος ( $\Delta E$ ) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, εκτός της φωτεινότητας, και το συνολικό χρώμα των επεξεργασμένων μανιταριών μεταβάλλεται με την ώσμωση, κάτι που σημαίνει ότι και η απόχρωση των δειγμάτων μεταβάλλεται σημαντικά, με τα ωσμομένα δείγματα να λαμβάνουν σταδιακά μια κιτρινωπή χροιά. Και σε αυτή την περίπτωση όμως δεν φαίνεται να μπορεί να εξαχθεί κάποιο σαφές συμπέρασμα για το εάν η μεταβολή αυτή εξαρτάται από την θερμοκρασία, τον χρόνο ή την συγκέντρωση γλυκερόλης. Επομένως, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η πρώτη ύλη. Τα αποτελέσματα αυτά της μέτρησης όλων των παραμέτρων (L,a,b) των δειγμάτων συνάδουν και με την οπτική εικόνα των δειγμάτων, όπως αυτή απεικονίστηκε κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διαδικασίας (βλ. παρακάτω ενδεικτικές φωτογραφίες).

Ακολουθούν φωτογραφίες από κάποιες συνθήκες ώσμωσης.





Γράφημα 6.10.: Ενδεικτικές φωτογραφίες δειγμάτων τεμαχισμένου μανιταριού κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε διαφορετικές θερμοκρασίες και με διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης, ως ωσμωτικού μέσου

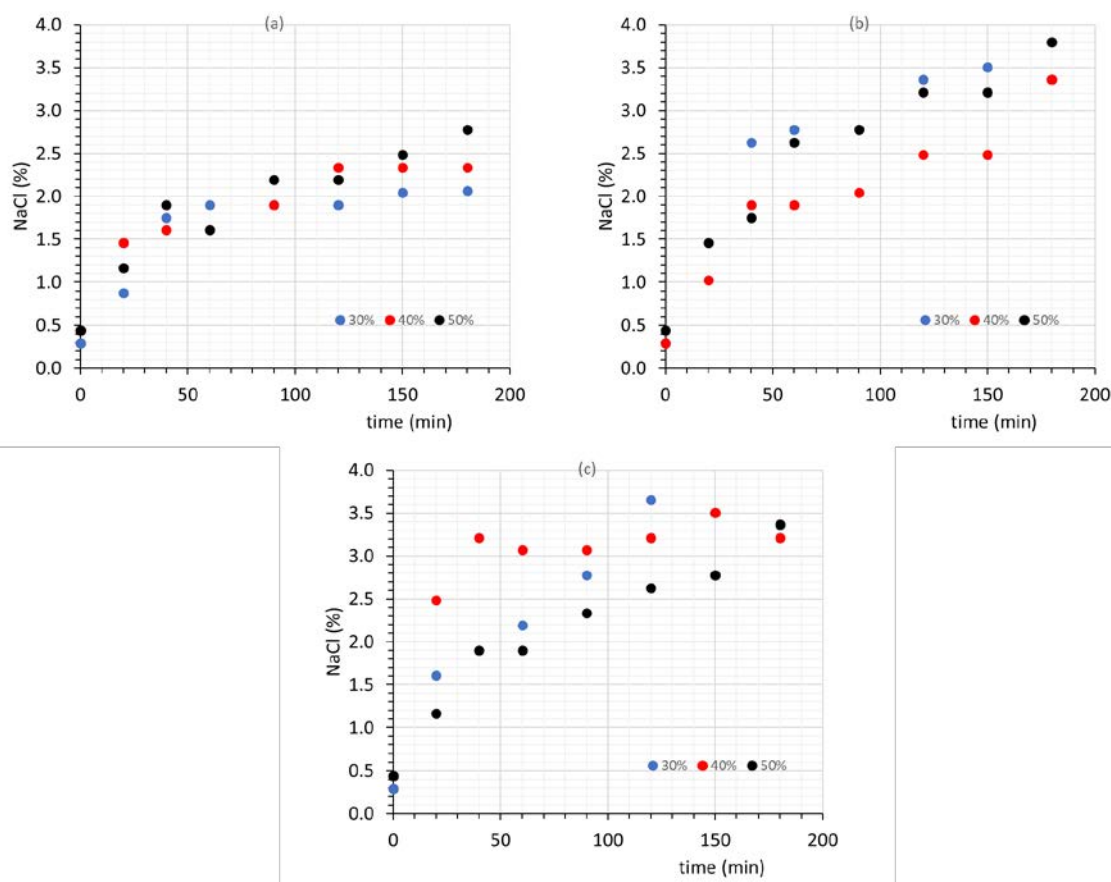
### 6.1.6 Μεταβολή της υφής του λευκού μανιταριού

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται η μεταβολή της σκληρότητας ( $f/f_0$ ) των επεξεργασμένων δειγμάτων σε σχέση με το χρόνο μηδέν του πειράματος (νωπά δείγματα). Και σε αυτή την περίπτωση, όπως με το χρώμα, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο σαφές και αξιόπιστο συμπέρασμα καθώς οι μετρήσεις εμφανίζουν αρκετές διακυμάνσεις. Γενικά, συμπεραίνουμε ότι η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται με την επεξεργασία και στις τρεις θερμοκρασίες. Αυτό ίσως οφείλεται στη ρήξη των κυτταρικών μεμβρανών λόγω θερμοκρασίας / συγκέντρωσης γλυκερόλης (Fei et al., 2017).

**Πίνακας 5.1:** Μεταβολή της σκληρότητας των ωσμομένων δειγμάτων μανιταριού στους 30, 40 και 50°C.

Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	$f/f_0$	Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	$f/f_0$	Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	$f/f_0$						
30°C	30	0	1.00	40°C	30	0	1.00	50°C	30	0	1.00						
		20	0.65			20	0.16			20	0.65						
		40	0.66			40	1.34			40	0.66						
		60	0.97			60	0.62			60	0.97						
		90	0.82			90	1.06			90	0.82						
		120	0.46			120	0.38			120	0.46						
		150	0.88			150	0.80			150	0.88						
		180	0.73			180	0.48			180	0.73						
		40	40			0	1.00			40	40	0	1.00	40	40	0	1.00
						20	0.47					20	0.21			20	0.47
						40	0.39					40	0.30			40	0.39
						60	0.27					60	0.27			60	0.27
90	0.22			90	0.27	90	0.22										
120	0.28			120	0.47	120	0.28										
		150	0.67			150	0.44			150	0.67						
		180	0.47			180	0.54			180	0.47						
		50	50			0	1.00			50	50	0	1.00	50	50	0	1.00
						20	0.37					20	0.58			20	0.37
						40	0.39					40	0.65			40	0.39
						60	1.08					60	0.31			60	1.08
90	0.53			90	0.71	90	0.53										
120	0.55			120	0.58	120	0.55										
		150	0.87			150	0.58			150	0.87						
		180	0.59			180	0.50			180	0.59						

### 6.1.7 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι του λευκού μανιταριού



Γράφημα 6.11.: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 30°C (b) 40°C και (c) 50°C.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, είναι φανερό ότι με την πάροδο του χρόνου της ώσμωσης τα δείγματα και στις τρεις θερμοκρασίες προσλαμβάνουν σταθερά αλάτι. Τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στους 30 °C προσέλαβαν τη μικρότερη ποσότητα άλατος ενώ η συγκέντρωση γλυκερόλης του ωσμωτικού διαλύματος δεν διαφοροποίησε σημαντικά τις τιμές.

### 6.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης λευκού μανιταριού με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken

Με βάση το σχεδιασμό Box-Behnken, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα «Υλικά και Μέθοδοι» πραγματοποιήθηκαν 15 σειρές πειραμάτων στις συνθήκες που αναφέρονται στην ίδια ενότητα (§3.4) και τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναλύθηκαν με τη βοήθεια του Minitab® (DOE-Response Surface application), προκειμένου να βρεθούν οι συντελεστές της εξίσωσης του πολυωνύμου (Εξ. 3). Οι συντελεστές αυτοί, όπως και το  $R^2$  που έδωσε η προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην εκάστοτε εξίσωση β' βαθμού, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:



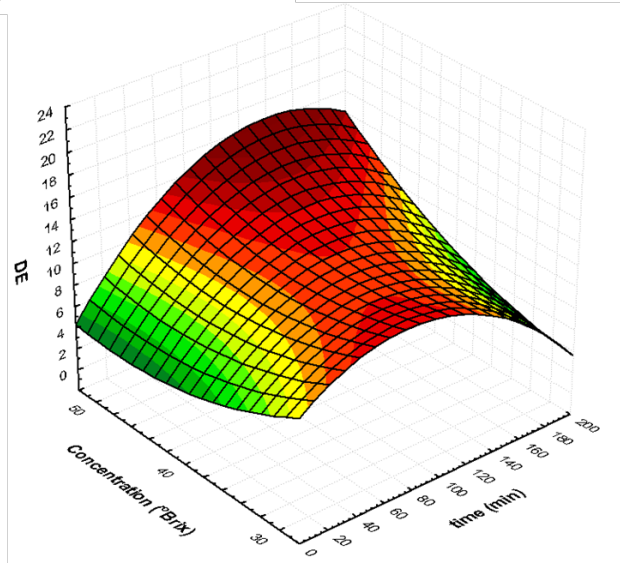
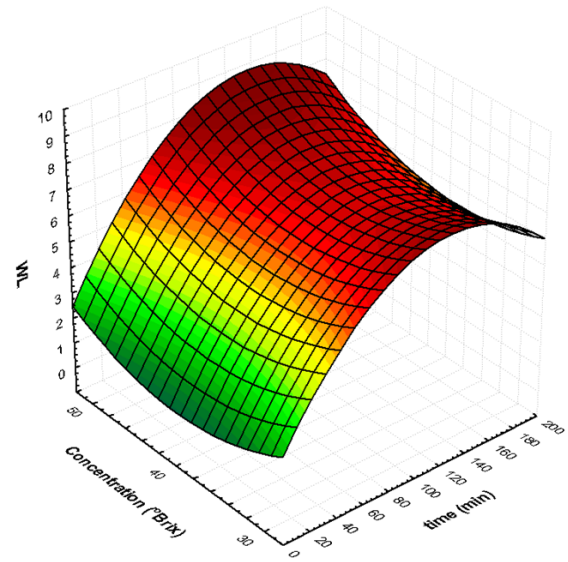
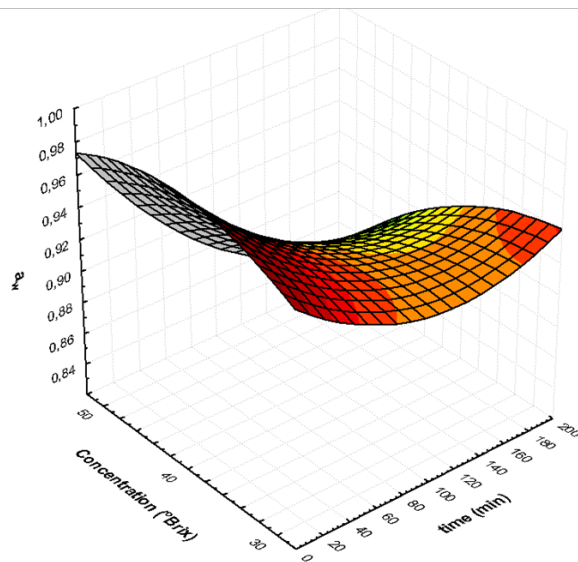
Πίνακας 6.2: Τιμές των συντελεστών των πολυωνυμικών εξισώσεων των αποκρίσεων (με βάση την εξίσωση που μελετήθηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία RSM

	$a_w$	WL	SG	°Brix	Υγρασία	L/L <sub>0</sub>	ΔΕ	% NaCl	f/f <sub>0</sub>
$a_0$	0.9157 00	0.3900 00	742.0000 00	23.3700 00	117.000 000	0.0350 00	43.9000 00	5.0800 00	3.2500 00
$a_1$	- 0.0047 10	- 0.4720 00	- 0.296900	- 0.94600 0	- 1.38000 0	- 0.0366 00	- 0.91000 0	- 0.3540 00	- 0.0517 00
$a_2$	- 0.0072 20	- 0.2750 00	- 0.111100	- 1.39600 0	- 0.14400 0	- 0.0848 00	- 3.35000 0	- 0.0210 00	- 0.1952 30
$a_3$	- 0.0008 43	- 0.0245 00	- 0.003900	- 0.04090 0	- 0.04500 0	- 0.0036 00	- 0.41600 0	- 0.0212 00	- 0.0009 00
$a_{11}$	- 0.0000 69	- 0.0033 00	- 0.002546	- 0.00807 0	- 0.01434 0	- 0.0004 84	- 0.01140 0	- 0.0033 80	- 0.0004 43
$a_{22}$	- 0.0000 85	- 0.0053 00	- 0.000360	- 0.00474 0	- 0.00239 0	- 0.0010 15	- 0.03660 0	- 0.0005 10	- 0.0019 82
$a_{33}$	- 0.0000 07	- 0.0001 85	- 0.000027	- 0.00015 2	- 0.00049 9	- 0.0000 32	- 0.00128 0	- 0.0001 25	- 0.0000 39
$a_{12}$	- 0.0000 49	- 0.0034 00	- 0.002127	- 0.01000 0	- 0.00562 0	- 0.0000 50	- 0.00780 0	- 0.0017 00	- 0.0000 84
$a_{13}$	- 0.0000 00	- 0.0009 19	- 0.000048	- 0.00111 0	- 0.00223 0	- 0.0000 18	- 0.00471 0	- 0.0002 84	- 0.0001 59
$a_{23}$	- 0.0000 01	- 0.0001 40	- 0.000215	- 0.00055 6	- 0.00297 0	- 0.0000 44	- 0.00013 0	- 0.0000 41	- 0.0002 90
$R^2$	0.8431	0.7515	0.8195	0.9832	0.8688	0.7989	0.7614	0.8698	0.7535

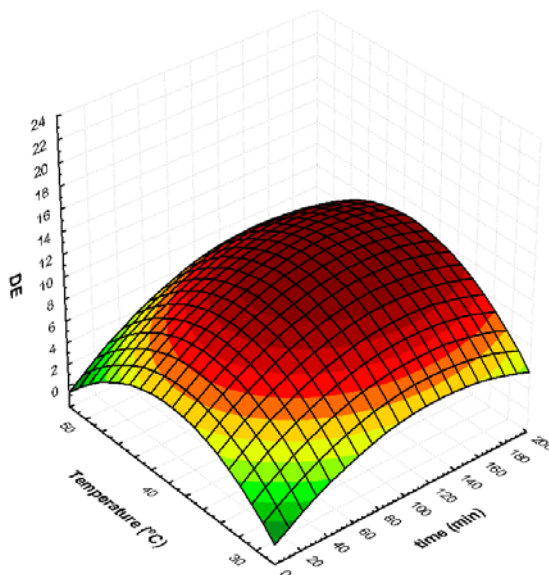
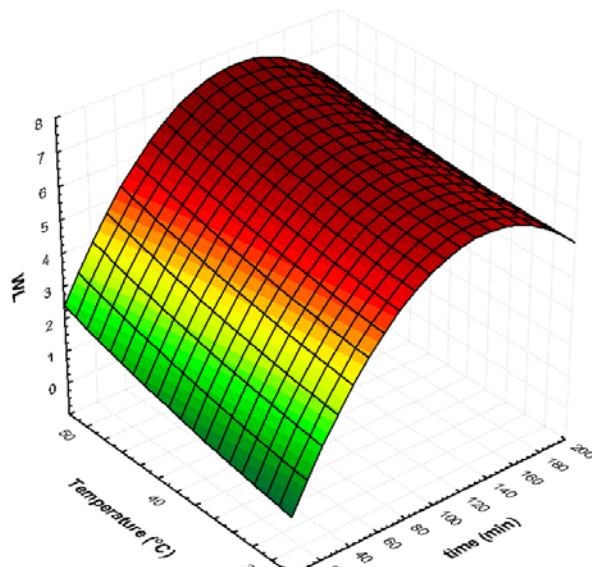
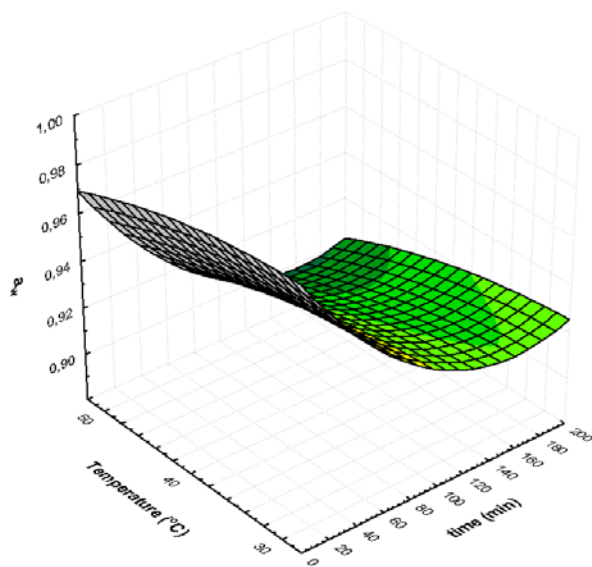
Δείκτες συντελεστών αφορούν στις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης: 1= Θερμοκρασία, 2= Συγκέντρωση, 3= χρόνος

Τα αποτελέσματα της ενότητας αυτής αποτυπώθηκαν σε τρισδιάστατα διαγράμματα (3D-plots) που κατασκευάστηκαν σε περιβάλλον SYSTAT 8.0. Σε κάθε περίπτωση, η επιλεγμένη απόκριση Y (εδώ θα παρουσιαστούν ενδεικτικά οι δείκτες της ενεργότητας του νερού, της απώλειας ύδατος και της μεταβολής του συνολικού χρώματος) περιγράφηκε ως συνάρτηση των δύο παραμέτρων λειτουργίας της ωσμωτικής διαδικασίας, με την τρίτη παράμετρο να διατηρεί σταθερή τιμή, ίση με το κεντρικό σημείο του εύρους τιμών της. Για παράδειγμα, στην ομάδα A των τρισδιάστατων διαγραμμάτων επιφανείας, οι επιλεγμένες αποκρίσεις ( $a_w$ , WL, και ΔΕ) παρουσιάζονται ως συνάρτηση του χρόνου της ώσμωσης και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος σε γλυκερόλη, όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με την

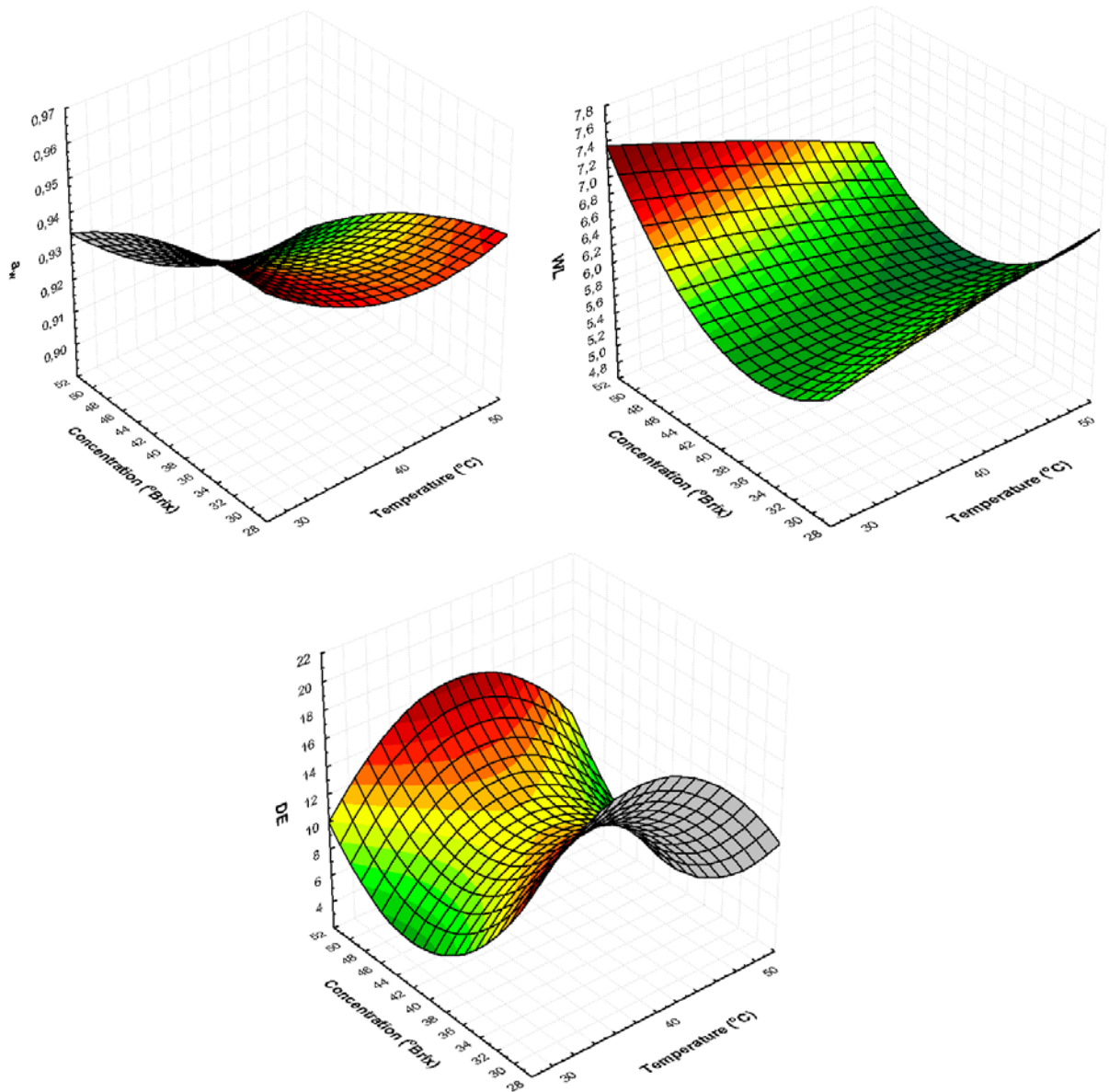
τιμή των 40°C. Αντίστοιχα, τα διαγράμματα της ομάδας Β απεικονίζουν τη μεταβολή των ίδιων αποκρίσεων ( $a_w$ , WL, και ΔΕ), όταν μεταβάλλεται ο χρόνος της ώσμωσης και η θερμοκρασία, με τη συγκέντρωση της γλυκερόλης να έχει τη σταθερή τιμή των 40°Brix), ενώ στην περίπτωση των διαγραμμάτων της ομάδας Γ διατηρείται σταθερός ο χρόνος της ώσμωσης στα 90 min και ακολουθείται η ίδια διαδικασία προβολής των αποκρίσεων, σε συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος.



A: (σταθερή θερμοκρασία 40°C)



B: (σταθερή συγκέντρωση 40°Brix)



Γ: (σταθερή διάρκεια 90 min)

Γράφημα 6.12.: Τρισδιάστατα διαγράμματα μεταβολής των αποκρίσεων σε σχέση με τις παραμέτρους λειτουργίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης (με τις δύο παραμέτρους των αξόνων  $\chi$  και  $\psi$  να μεταβάλλονται στο πειραματικό τους εύρος και την τρίτη παράμετρο να παραμένει σταθερή με τιμή ίση με το κεντρικό σημείο του πειραματικού της εύρους).

Σε κάθε «σεντόνι» βλέπουμε την αλληλεπίδραση 2 παραγόντων για κάθε απόκριση. Βλέπουμε ότι για την αύξηση της ΔΕ σημαντικό ρόλο παίζει η αύξηση χρόνου και συγκέντρωσης και λιγότερο της θερμοκρασίας.

Όσον αφορά στην απώλεια νερού σημαντικότερο ρόλο παίζει ο χρόνος της διεργασίας και μετά η συγκέντρωση, με λιγότερη σημασία πάλι να έχει η θερμοκρασία.

Για την ενεργότητα ύδατος εξίσου σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει θερμοκρασία, συγκέντρωση γλυκερόλης και χρόνος διεργασίας. Όλα αυτά τα συμπεράσματα/παρατηρήσεις που βασίζονται στα παραπάνω τρισδιάστατα διαγράμματα συμβαδίζουν (όπως είναι αναμενόμενο) με τα απλά διαγράμματα των αντίστοιχων μεταβολών των αποκρίσεων που παρατίθενται στις ενότητες §5.1.1, 5.1.2 και 5.1.5.2.

Η αξιοπιστία των εξισώσεων β' βαθμού αξιολογήθηκε με βάση το  $R^2$  που προέκυψε, και στις περισσότερες περιπτώσεις τα μοντέλα περιγράφουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα πειραματικά σημεία ( $R^2 > 0.75$ ). Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις πρόβλεψης των διαφόρων παραμέτρων μεταφοράς μάζας και ποιοτικής υποβάθμισης των μανιταριών, αλλά και τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας, όπως αυτά περιγράφηκαν αναλυτικά στην §3.4 (ελαχιστοποίηση της ενεργότητας ύδατος και μέγιστη διατήρηση χρώματος, μέσω της διατήρησης της φωτεινότητας και ελαχιστοποίησης της μεταβολής του συνολικού χρώματος), βρέθηκε ο κατάλληλος συνδυασμός των παραμέτρων της διεργασίας, που ήταν η θερμοκρασία των 50 °C, με συγκέντρωση γλυκερόλης στα 42 %, και διάρκεια ώσμωσης τα 120 min. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητα πειράματα στις παραπάνω συνθήκες, τα αποτελέσματα των οποίων αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα. Η κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε πέντε φορές λόγους ακρίβειας και επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 6.3: Πειραματικές μετρήσεις από το πείραμα επαλήθευσης των βέλτιστων συνθηκών που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM-Desirability functions και %σφάλμα σε σύγκριση με τις θεωρητικές/προβλεπόμενες τιμές από τις εξισώσεις β' βαθμού

	50 °C, 42 %, 120 min		
	Αναμενόμενες τιμές	Πειραματικές τιμές	% Σφάλμα
$a_w$	0.8981	0.9173±0.01	2.13
WL	5.7817	5.6622 ±0.15	-2.07
SG	1.4393	1.2091 ±0.19	-19.01
DE	5.0417	6.0783 ±2.42	17.05
L/L <sub>0</sub>	0.9898	0.9202 ±0.03	-7.03
NaCl	3.1319	2.9220 ±0.15	-6.70
°Brix	35.46	36.50 ±0.87	2.92
Υγρασία	66.7719	68.5142 ±1.54	2.61
f/f <sub>0</sub>	0.37916	0.4569 ±0.15	16.69

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, η απόκλιση πειραματικής τιμής/θεωρητικής πρόβλεψης δεν υπερβαίνει το 20% (ως απόλυτη τιμή), επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας RSM/Desirability Functions και ο προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών της ωσμωτικής διεργασίας έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα, με τις προβλεπόμενες τιμές στο βέλτιστο σημείο εκτίμησης από την RSM (με βάση τα πολυώνυμα β' βαθμού) να προσεγγίσουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις πειραματικές μετρήσεις του ανεξάρτητου πειράματος.

## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Στην εργασία αυτή, μελετήθηκε η κινητική της ώσμωσης σε τεμαχισμένο λευκό μανιτάρι, με εφαρμογή διαφορετικών θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων γλυκερόλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλες οι παράμετροι της διεργασίας επηρέασαν, τόσο τους δείκτες μεταφοράς μάζας που μετρήθηκαν, όσο και βασικούς ποιοτικούς δείκτες που μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Η ενεργότητα ύδατος φαίνεται να επηρεάζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου καθώς μειώνεται με εντονότερο ρυθμό όταν αυξήσουμε αυτές τις παραμέτρους. Επίσης μειώνεται καθ' όλη τη διάρκεια της διεργασίας με το πέρασμα του χρόνου.

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι εντονότερα στην αρχή της διεργασίας λόγω της μεγάλης διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης και τείνουν να σταθεροποιηθούν όσο πλησιάζουμε στην ισορροπία. Συγκεκριμένα η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών μεταβάλλονται με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό τα πρώτα 30 λεπτά της διεργασίας, ενώ μετά τις 2 ώρες τείνουν να σταθεροποιηθούν. Υψηλότερη θερμοκρασία και συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος ευνοούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και οδηγούν σε μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών. Στην περίπτωση μας βέβαια ίσως η αύξηση της θερμοκρασίας να μην έπαιξε τόσο σημαντικό ρόλο στην απώλεια νερού.

Επίσης αν και δεν μπορέσαμε να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα γιατί υπήρχαν διακυμάνσεις στις τιμές είδαμε πως με την πάροδο του χρόνου είχαμε μείωση της φωτεινότητας, αύξηση του κίτρινου χρώματος και μείωση της σκληρότητας.

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της μεθοδολογίας RSM, σε συνδυασμό με την εφαρμογή συγκεκριμένων κριτηρίων αποδοχής για τα δείγματα, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της ώσμωσης. Ο πειραματικός σχεδιασμός βασίστηκε στο σχεδιασμό Box-Behnken και οι βέλτιστες συνθήκες που προέκυψαν από την παραπάνω μεθοδολογία επαληθεύτηκαν σε ανεξάρτητα πειράματα. Επομένως, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η προσέγγιση που υιοθετήθηκε έδωσε αξιόπιστες προβλέψεις για τις βέλτιστες συνθήκες του πειράματος. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι τα κριτήρια που τέθηκαν εδώ αφορούσαν σε ωσμωμένο μανιτάρι που προορίζεται για περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. κατάψυξη) ή για επακόλουθη συντήρηση υπό ψύξη. Στις περιπτώσεις αυτές, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί προκατεργασία και ένα επιπλέον «εμπόδιο» στη σύνθετη επεξεργασία, οπότε τα κριτήρια που τέθηκαν αφορούσαν σε ελάχιστη ενεργότητα νερού και μέγιστη διατήρηση του λευκού χρώματος. Σε κάθε περίπτωση, η ίδια μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοσθεί και για ένα άλλο τελικό προϊόν μανιταριού, π.χ. ορεκτικό μανιταριού, για το οποίο τα αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής θα ήταν διαφορετικά (πχ αυξημένη πρόσληψη στερεών, και μέγιστη διατήρηση της ελαστικότητας).

Προκειμένου να ελεγχθεί η συμπεριφορά των ωσμωμένων μανιταριών (στις βέλτιστες συνθήκες που προέκυψαν από το RSM/desirability functions) σε επακόλουθη ψύξη και κατάψυξη, ειδικά συγκριτικά με τη συμπεριφορά των μη επεξεργασμένων αναλόγων τους, έγιναν κάποια προκαταρκτικά πειράματα, από τα οποία προέκυψαν ενδιαφέροντα και αισιόδοξα συμπεράσματα. Τα δείγματα συσκευάστηκαν σε ειδικό φιλμ οι άκρες του οποίου σφραγίστηκαν με θερμοσυγκόλληση και τοποθετήθηκαν στους 0 και στους -18°C.

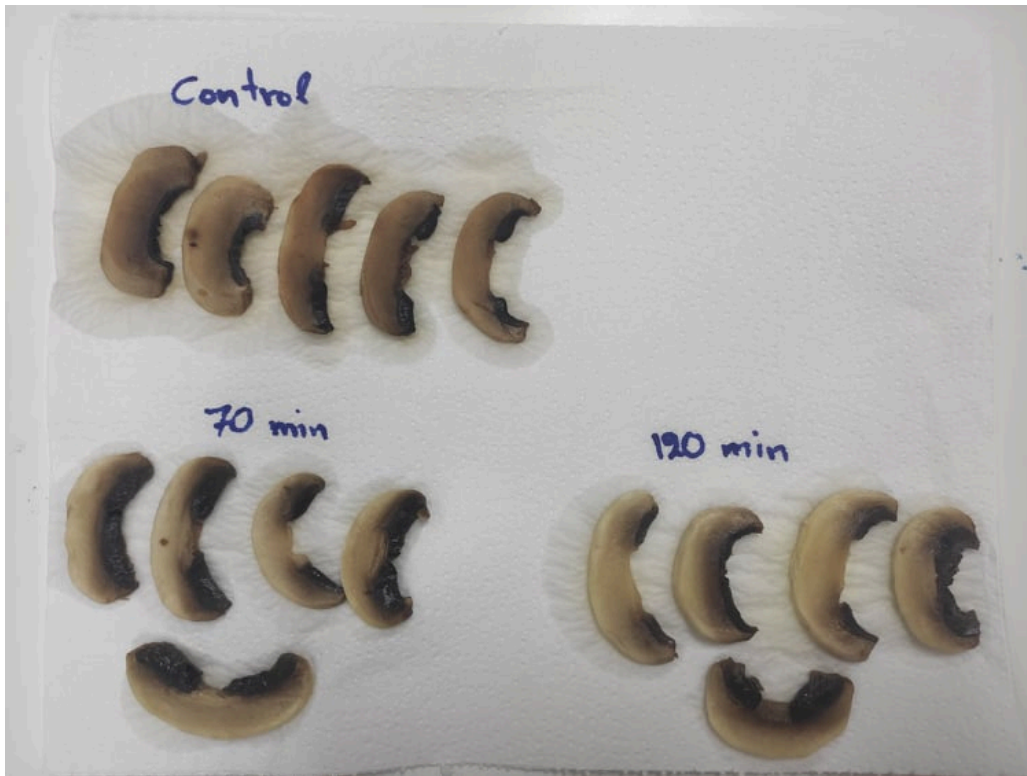




**Εικόνα 22:** Συσκευασμένα δείγματα έτοιμα για ψύξη/ κατάψυξη.

Ενδεικτικές φωτογραφίες από την εμφάνιση των δειγμάτων μετά από εφαρμογή κατάψυξης παρατίθενται σε αυτό το σημείο:





**Εικόνα 23:** Φωτογραφίες από δείγματα μανιταριού μετά από κατάψυξη και επακόλουθη απόψυξη.

Παρατηρούμε ότι στην κατάψυξη, τα ωσμωμένα δείγματα μετά την απόψυξη συγκράτησαν σε μεγάλο βαθμό τα υγρά τους, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα ανεπεξέργαστα, τα οποία έχασαν μεγάλο μέρος του βάρους τους μετά την απόψυξη. Επίσης τα control δείγματα έχουν χάσει σε μεγάλο βαθμό τη φωτεινότητα τους έχοντας αποκτήσει ένα πιο σκούρο χρώμα, ενώ αντίθετα τα επεξεργασμένα έχουν διατηρήσει σε μεγάλο βαθμό τη φωτεινότητα και το χρώμα τους.

Όμοια στην ψύξη οι μάρτυρες αλλοιώθηκαν πολύ γρηγορότερα (σε σχέση με την υφή και το χρώμα) σε σύγκριση με τα ωσμωμένα δείγματα.

Συνεπώς η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για προκατεργασία κατάψυξης που θα βοηθήσει στη διατήρηση των φυσικών χαρακτηριστικών του προϊόντος.



Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

- Μελέτη διαφορετικών συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης.
- Επιλογή διαφορετικών κριτηρίων για βελτιστοποίηση της διεργασίας ίσως με σκοπό την δημιουργία ενός διαφορετικού τελικού προϊόντος (π.χ. πίκλα μανιταριού).
- Μέτρηση οργανοληπτικής υποβάθμισης με πραγματοποίηση οργανοληπτικού ελέγχου.
- Εφαρμογή της ίδιας διεργασίας σε διαφορετικά είδη μανιταριών και σύγκριση αποτελεσμάτων.
- Μελέτη διαχείρισης του ωσμωτικού διαλύματος και εύρεση τρόπου επαναχρησιμοποίησης του για εξοικονόμηση πόρων και μείωση των αποβλήτων της διεργασίας.
- Συστηματική και ποσοτική μελέτη της σταθερότητας των ωσμωνμένων μανιταριών σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα σε ψύξη/κατάψυξη.

# Βιβλιογραφία

## Ξενογλώσση Βιβλιογραφία

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

Amami, E., Fersi, A., Khezami, L., Vorobiev, E., & Kechaou, N. (2007). Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT-Food Science and Technology*, 40(7), 1156-1166.

Amami, E., Vorobiev, E., & Kechaou, N. (2005). Effect of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of apple tissue. *Drying technology*, 23(3), 581-595.

Amiripour, M., Habibi-Najafi, M. B., Mohebbi, M., & Emadi, B. (2015). Optimization of osmo-vacuum drying of pear (*Pyrus communis* L.) using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 269-280.

Anderson, J. W., & Ward, K. (1979). High-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-treated men with diabetes mellitus. *The American journal of clinical nutrition*, 32(11), 2312-2321.

Anshu, S. & Anju, B., (2018), Effect of osmotic dehydration on quality of oyster mushrooms, *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), pp. 1601-1605.

Apintanapong, M., Cheachumluang, K., Suansawan, P., & Thongprasert, N. (2007). Effect of antibrowning agents on banana slices and vacuum-fried slices. *International journal of food, agriculture and environment (Print)*, 5(3-4), 151-157.

Assis, F. R., Morais, R. M. S. C. & Morais, A. M. M. B., (2018), Osmotic Dehydration combined with freeze-drying of apple cubes and comparison with microwave drying and hot air drying, *Advances in Food Science and Engineering*, 2(1), pp. 39–47.

Atares, L., Gallagher, M. S., & Oliveira, F. A. R. (2011). Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated. *Journal of Food Engineering*, 103(4), 401-408.

Azoubel, P. M., & Murr, F. E. X. (2004). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 291-295.

B.K. Mehta<sup>1</sup>, Maya Kumari, , Surabhi and S.K. Jain. 2018. Osmotic Dehydration as a Pre-treatment Before Hot Air Drying of Mushroom (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6 Special Issue-7 pp. 1341-1349.

Bekele, Y., & Ramaswamy, H. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1(1), 1-15.

Biswal, R. N., BOZORGMEHR, K., Tompkins, F. D., & Liu, X. (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56(4), 1008-1012.

Box, G. E., & Behnken, D. W. (1960). Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 2(4), 455-475.

Brennan, M., Le Port, G., & Gormley, R. (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 33(4), 285-289.

Chang, S. T. (1980). Mushrooms as human food. *Bioscience*, 30(6), 399-401.

Chang, S. T. (2008). Overview of mushroom cultivation and utilization as functional foods. *Mushrooms as functional foods*, 260.

Costa, N. R., Lourenço, J., & Pereira, Z. L. (2011). Desirability function approach: a review and performance evaluation in adverse conditions. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 107(2), 234-244.

Costa, N., & Lourenço, J. (2014). A comparative study of multiresponse optimization criteria working ability. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 138, 171-177.

Courtecuisse R. and Duhem B., (1995). *Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe*, Harper Collins Publishers, Fulham Palace Road, London (UK), pp. 77-85

Crisan, E. V., Sands, A., Chang, S. T., & Hayes, W. A. (1978). The biology and cultivation of edible mushrooms. *Nutritional value*, New York Academic, 251-293.

Dalla Rosa, M., & Giroux, F. (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 223-236.

Dehghannya, J., Bozorgi, S. & Heshmati, M. K., (2017), Low temperature hot air drying of

potato cubes subjected to osmotic dehydration and intermittent microwave: drying kinetics, energy consumption and product quality indexes, *Heat and Mass Transfer*, 54(4), pp. 929–954.

Dehkordi, B. M. (2010). Optimization of the Process of Osmo-Convective Drying of Edible Button Mushrooms using Response Surface Methodology (RSM). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37, 1014-1018.

Dermesonlouoglou, E. K., & Giannakourou, M. C. (2018). Modelling dehydration of apricot in a non-conventional multi-component osmotic solution: Effect on mass transfer kinetics and quality characteristics. *Journal of food science and technology*, 55(10), 4079-4089.

Dermesonlouoglou, E., Paraskevopoulou, E., Andreou, V. & Taoukis, P., (2020), Osmotic Dehydration for the Production of Novel Pumpkin Cut Products of Enhanced Nutritional Value and Sustainability, *Applied Sciences*, 10, pp. 6225.

Derossi, A., De Pilli, T., Giuliani, R., Orlando, I., Palmieri, L., & Severini, C. (2011). Study on prestabilization of pumpkin (*Cucurbita Moschata*) by osmotic dehydration in quaternary complex solution. *Journal of Food Process Engineering*, 34(2), 398-413.

Derossi, A., Severini, C., Del Mastro, A., & De Pilli, T. (2015). Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 641-648.

Derringer, G.; Suich, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *J. Qual. Technol.* 1980, 12(4), 214-219.

Devi, S., Zhang, M., Ju, R. & Bhandari, B., (2020), Water loss and partitioning of the oil fraction of mushroom chips using ultrasound-assisted vacuum frying, *Food Bioscience*, 38.

Doymaz, I. (2014). Drying kinetics and rehydration characteristics of convective hot-air dried white button mushroom slices. *Journal of Chemistry*, 2014.

Dubost, N. J., Ou, B., & Beelman, R. B. (2007). Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 105(2), 727-735.

Efimia, K., Dermesonlouoglou, Pourgouri, S., Petros, S., & Taoukis (2008). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment on the shelf life of frozen cucumber.

Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9, 542–549.

Eren, I., & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of food engineering*, 79(1), 344-352.

Fathi, M., Mohebbi, M., & Razavi, S. M. A. (2011). Application of image analysis and artificial neural network to predict mass transfer kinetics and color changes of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1357-1366.

Fei, P., Lifu, C., Wenjian, Y., Liyan, Z., Yong, F., Ning, M., & Qihui, H. (2018). Comparison of osmotic dehydration and ultrasound-assisted osmotic dehydration on the state of water, texture, and nutrition of *Agaricus bisporus*. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 181-189.

Ferguson, L. R. (2001). Role of plant polyphenols in genomic stability. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 475(1-2), 89-111.

Flegg, P. B., & Maw, G. A. (1976). Mushrooms and their possible contribution to world protein needs. *Mushroom Journal*.

Gamboa-Santos, J. & Campañone, L. A., (2018), Application of osmotic dehydration and microwave drying to strawberries coated with edible films, *Drying Technology*, pp. 1–11.

Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2003). Stability of dehydrofrozen green peas pretreated with non conventional osmotic agents. *Journal of Food Science*, 68, 2002–2201.

Giannakourou, M. C., Lazou, A. E., & Dermesonlouoglou, E. K. (2020). Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes in Solutions of Non-Conventional Sweeteners by Response Surface Methodology and Desirability Approach. *Foods*, 9(10), 1393.

Gantner, M., Guzek, D., Pogorzelska, E., Brodowska, M., Wojtasik-Kalinowska, I., & Godziszewska, J. (2017). The effect of film type and modified atmosphere packaging with different initial gas composition on the shelf life of white mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e13083.

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohammad-Razdari, A., Yoosefian, S. H., & Izadi, Z. (2018). Effects of the combination of gamma irradiation and Ag nanoparticles polyethylene films on the quality of fresh bottom mushroom (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing*

and Preservation, 42(7), e13652.

González-Pérez, J. E., López-Méndez, E. M., Luna-Guevara, J. J., Ruiz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C. E., & Ruiz-López, I. I. (2019). Analysis of mass transfer and morphometric characteristics of white mushroom (*Agaricus bisporus*) pilei during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 240, 120-132.

Gupta, P., Bhat, A., Chauhan, H., Ahmed, N., & Malik, A. (2015). Osmotic dehydration of button mushroom. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 177-182.

Haque, M. R., Hosain, M. M., Kamal, M. M., Islam, M. R., & Mondal, S. C. (2020). OPTIMIZATION OF OSMOTIC DEHYDRATION PARAMETERS OF BANANA UNDER PULSED MICROWAVE CONDITIONS BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 9(6), 1053-1059.

Haque, R., Hosain, M., Kamal, M., Islam, R. & Mondal, S. C., (2020a), Optimization of osmotic dehydration parameters of banana under pulsed microwave conditions by response surface methodology, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(6), pp. 1053-1059.

Haque, R., Hosain, M., Rahman, M. A., Kamal, K., Mondal, S. C. & Islam, M., (2020b), Modeling and optimization of the pulsed vacuum osmotic dehydration (pvod) process of carrots in a ternary solution by response surface methodology, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(3), pp. 424-430.

İspir, A., & Toğrul, İ. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2), 166-180.

Joshi, K., Warby, J., Valverde, J., Tiwari, B., Cullen, P. J., & Frias, J. M. (2018). Impact of cold chain and product variability on quality attributes of modified atmosphere packed mushrooms (*Agaricus bisporus*) throughout distribution. *Journal of Food Engineering*, 232, 44-55.

Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.

Khatir, A., Acheheb, H., Malek, A., & Ferradji, A. (2013). Optimization of osmotic

dehydration of orange pieces (valencia late) in sugar solution using response surface methodology. *Journal of Renewable Energies*, 16(2), 247-256.

Kim, Y. J., & Uyama, H. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cellular and molecular life sciences CMLS*, 62(15), 1707-1723.

Kowalska, H., & Lenart, A. (2001). Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 137-140.

Kroehnke, J., Szadzińska, J., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G. & Mierzwa, D., (2021), Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) – The influence of ultrasound on process kinetics and product quality, *Ultrasonics Sonochemistry*, 71.

Kumar, K., Barmanray, A., & Kumar, S. (2017). Shelf-Life Studies on Osmo-Air Dried White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus* L.). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5(2), 144-153.

Lazarides, H. N. (1994). Osmotic preconcentration: Developments and prospects. *Minimal processing of foods and process optimisation; an interface,* Singh RP, Oliveira, F. AR (Eds.). CRC Press, London, UK.

Lazou, A. E., Dermesonlouoglou, E. K., & Giannakourou, M. C. (2020). Modeling and Evaluation of the Osmotic Pretreatment of Tomatoes (*S. lycopersicum*) with Alternative Sweeteners for the Production of Candied Products. *Food and Bioprocess Technology*, 13(6), 948-961.

Lenart, A., & Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 45-63.

Lewicki, P. P., & Lenart, A. (2006). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In A. S.Mujumdar (Ed.), *Handbook of industrial drying* (pp. 665–688) (3rd ed.). Boca Raton, F.L.: Taylor and Francis Group.

Li, G. S. F., & Chang, S. T. (1982). The nucleic acid content of some edible mushrooms. *European journal of applied microbiology and biotechnology*, 15(4), 237-240.

- Lin, X., & Sun, D. W. (2019). Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 63-75.
- Liu, Z., Dang, J., Wang, Q., Yu, M., Jiang, L., Mei, L., ... & Tao, Y. (2013). Optimization of polysaccharides from *Lycium ruthenicum* fruit using RSM and its anti-oxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 127-134.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2005). *ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ*. Εκδόσεις Κρήτης.
- Mah, S. K., Chang, C. C. H., Wu, T. Y., Chai, S. P. (2014). The study of reverse osmosis on glycerin solution filtration: Dead-end and crossflow filtrations, transport mechanism, rejection and permeability investigations, *Desalination*, 352, 66-81.
- Maldonado, R. R., Pedreira, A. J. R. M., Cristianini, L. B., Guidi, M. F., Capato, M. O., Ávila, P. F., Goldbeck, R. & Kamimura, E. S., (2020), Application of soluble fibres in the osmotic dehydration of pineapples and reuse of effluent in a beverage fermented by water kefir, *LWT*, 132.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2013). Artificial neural network and response surface methodology modeling in mass transfer parameters predictions during osmotic dehydration of *Carica papaya* L. *Alexandria Engineering Journal*, 52(3), 507-516.
- McHugh, T. H., Krochta, J. M., (1994). Sorbitol- vs Glycerol- Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4), 841-845.
- Mehta, B. K., Jain, S. K., Sharma, G. P., Anila, D., & Jain, H. K. (2014). Optimization of osmotic drying parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Mushroom Research*, 23(1), 69-80.
- Mehta, B. K., Jain, S. K., Sharma, G. P., Mudgal, V. D., Verma, R. C., Doshi, A., & Jain, H. K. (2012). Optimization of osmotic drying parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*).
- Miles, P. G., & Chang, S. T. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal*



effect, and environmental impact. CRC press.

Mirzayi, B., Heydari, A. & Jabbari, A., (2018), The effects of Sucrose/NaCl/Time interactions on the osmotic dehydration of banana slices, *Brazilian Journal of Food Technology*, 21.

Mirzayi, B., Heydari, A., & Jabbari, A. (2018). Efeitos de interações de Sacarose/NaCl/Tempo na desidratação osmótica de fatias de banana. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21.

Mokhtarian, M., Majd, M. H., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Garmakhany, A. D., & Rashidzadeh, S. (2014). Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modelling. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(2), 201-214.

Montero, P., Martínez-Álvarez, O., Zamorano, J. P., Alique, R., & Gómez-Guillén, M. D. C. (2006). Melanosis inhibition and 4-hexylresorcinol residual levels in deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) following various treatments. *European Food Research and Technology*, 223(1), 16-21.

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., Vázquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions, *LWT - Food Science and Technology*, 40(9), 1507–1514.

Ozdemir, M., Ozen, B. F., Dock, L. L., & Floros, J. D. (2008). Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 2044-2050.

Pei, F., Xiao, K., Chen, L., Yang, W., Zhao, L., Fang, Y., ... & Hu, Q. (2019). Mass transfer characteristics during ultrasound-assisted osmotic dehydration of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of food science and technology*, 56(4), 2213-2223.

Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7.

Ramaswamy, H. S. (2005). Osmotic drying. Workshop on drying of food and pharmaceuticals. Fourth Asia Pacific Drying Conference, 12 December, 2005, Kolkata, India

Ramya, H. G. & Kumar, S., (2015), Evaluation of Mass Transfer Kinetics for Osmotic Dehydration of Oyster Mushrooms (*Pleurotus sajorcaju*) in Salt-sugar Solution, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B*, 85(2), pp. 517–525.

Ramya, H. G., Kumar, S., & Kapoor, S. (2014). Optimization of osmotic dehydration process for Oyster mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in sodium chloride solution using RSM. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(1), 152-158.

Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food science & technology*, 5(8), 255-260.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Niranjana, K. (2005). Developments in osmotic dehydration. In *Emerging technologies for food processing* (pp. 221-249). Academic Press.

Rastogi, N. K., Suguna, K., Nayak, C. A., & Raghavarao, K. S. M. S. (2006). Combined effect of  $\gamma$ -irradiation and osmotic pretreatment on mass transfer during dehydration. *Journal of food engineering*, 77(4), 1059-1063.

Ren, A., Pan, S., Li, W., Chen, G. & Duan, X., (2018), Effect of Various Pretreatments on Quality Attributes of Vacuum-Fried Shiitake Mushroom Chips, Hindawi, *Journal of Food Quality*.

Rezagah, M. E., Kashaninejad, M., Mirzaei, H., & Khomeiri, M. (2010). Osmotic dehydration of button mushroom: Fickian diffusion in slab configuration. *Latin American applied research*, 40(1), 23-26.

Ritz K., (2005). *Fungi* pp.110-111

Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications*, 5-13.

Seo, S. Y., Sharma, V. K., & Sharma, N. (2003). Mushroom tyrosinase: recent prospects. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(10), 2837-2853.

Sharif, I., Adewale, P., Dalli, S. S., & Rakshit, S. (2018). Microwave pretreatment and optimization of osmotic dehydration of wild blueberries using response surface methodology. *Food chemistry*, 269, 300-310.

Shi, J. (2008). Osmotic dehydration of foods. *Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications*, DEStech Publications, Inc. Pennsylvania, USA, 275-295.

Shi, J., & Xue, S. J. (2008). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In *Advances in food dehydration* (pp. 205-226). CRC Press.

- Simón, A., & González-Fandos, E. (2010). Effect of washing with citric acid or sodium hypochlorite on the visual and microbiological quality of mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of food quality*, 33, 273-285.
- Singh, B., Panesar, P. S., Nanda, V., & Kennedy, J. F. (2010). Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. *Food Chemistry*, 123(3), 590-600.
- Singh, M. P., Nikhanj, P. & Sodhi, H. S., (2020), Physico-chemical and nutritional studies on vinegar dips for shelf life extension of *Agaricus Bisporus*, *Journal of Food Processing and Preservation*.
- Singh, P., Langowski, H. C., Wani, A. A., & Saengerlaub, S. (2010). Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(9), 1393-1402.
- Stamets P., (2005). *Mycelium Running : How Mushrooms can help save the world*, Ten Speed Press, Berkeley, pp. 1-30
- Sulistyawati, T., Verkerk, R., Fogliano, V. & Dekker, M., (2020), Modelling the kinetics of osmotic dehydration of mango: Optimizing process conditions and pre-treatment for health aspects, *Journal of Food Engineering*, 280.
- Sunjka, P. S., & Raghavan, G. S. V. (2004). Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46(1), 45-48.
- Tarlak, F., Ozdemir, M., & Melikoglu, M. (2020). The combined effect of exposure time to sodium chlorite ( $\text{NaClO}_2$ ) solution and packaging on postharvest quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) stored at 4° C. *Food Science and Technology*, 40, 864-870.
- Tiroutchelvame, D., Maran, J. P., & Pragalyaashree, M. M. (2021). Response surface analysis and optimization of osmotic dehydration of *musa acuminata* slices. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 1016-1020.
- Tolera, K. D. & Abera, S., (2017), Nutritional quality of Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*) as affected by osmotic pretreatments and drying methods, *Food Science & Nutrition - Wiley Online Library*, pp. 1-8
- Torreggiani, D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. *Food*

preservation by moisture control: fundamentals and applications, 281-304.

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 247-253.

Torrina, E., Esveld, E., Scheewe, I., van den Berg, R., & Bartels, P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 185-191.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303–324.

Venturini, M. E., Reyes, J. E., Rivera, C. S., Oria, R., & Blanco, D. (2011). Microbiological quality and safety of fresh cultivated and wild mushrooms commercialized in Spain. *Food microbiology*, 28(8), 1492-1498.

Wrona, M., Bentayeb, K., & Nerín, C. (2015). A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Control*, 54, 200-207.

Yang, D. C., & Le Maguer, M. (1992). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mushrooms. *Journal of food processing and preservation*, 16(3), 215-231.

Yuan, Y., Tan, L., Xu, Y., Dong, J., Zhao, Y. & Yuan, Y., (2018), Optimization of Processing Parameters for Lettuce Vacuum Osmotic Dehydration Using Response Surface Methodology, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(1), pp. 15–23.

Zalewska, M., Marcinkowska-Lesiak, M., & Onopiuk, A. (2018). Physicochemical properties of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) as affected by coating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13419.

Zhang, K., Pu, Y-Y. & Sun, D-W., (2018), Recent Advances in Quality Preservation of Postharvest Mushrooms (*Agaricus bisporus*): A Review, *Trends in Food Science & Technology*.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

Αγγέλης Γ. (2007). Μικροβιολογία Και Μικροβιακή Τεχνολογία. Εκδόσεις Σταμούλη.

Δερμεσονλούογλου Ε. (2008), «Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της ποιότητας κατεψυγμένων φυτικών προϊόντων». Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ζερβάκης Γ. (1998). Εισαγωγή στη Μυκητολογία και Στοιχεία Καλλιέργειας εδώδιμων μανιταριών, ΤΕΙ Καλαμάτας, Καλαμάτα.

Κελτεμλίδης Θ. Δ. (1995). Τα φαρμακευτικά μανιτάρια και οι θεραπευτικές τους χρήσεις. Εκδόσεις: Ψύχαλου.

Στεφανάκης Κ. (1995). ΤΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ. Εκδόσεις: Α. Σταμούλης Αθήνα-Πειραιάς