



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

# Μικροεγκλεισμός αρωματικών και βιοδραστικών συστατικών με ξήρανση με ψεκασμό

Διπλωματική Εργασία

Μαλαξιανάκη Στυλιανή

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΩΡΑΙΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΑΘΗΝΑ, 2020



# Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπο την επίβλεψη της καθηγήτριας Β. Ωραιοπούλου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια Β. Ωραιοπούλου για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, βοηθώντας με να ξεπεράσω κάθε εμπόδιο που δημιουργήθηκε στην πορεία, δημιουργώντας ευχάριστο και παραγωγικό κλίμα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Δ. Τσιμογιάννη, Δρ. Β. Γιάννου και τους υποψήφιους διδάκτορες Γ. Δημόπουλο και Μ. Κατσούλη οι οποίοι πάντοτε είχαν την καλή διάθεση να προσφέρουν τη βοήθειά τους η οποία υπήρξε πολύτιμη, καθώς και όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη φιλική τους διάθεση και τη βοήθεια τους.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ΒΙΟΡΥΛ Α.Ε. για την προσφορά των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω δικά μου αγαπημένα πρόσωπα τα οποία είναι ο φίλος και συνάδελφος Μ.Μ. Ψαριανός και οι γονείς μου η υποστήριξη των οποίων αποτέλεσε για εμένα κινητήριο δύναμη.

## Περίληψη

Τα αρωματικά όπως και τα φαινολικά συστατικά διαχρονικά κέντριζαν το ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων καθώς η εφαρμογή τους σε συστήματα τροφίμων δίνει τη δυνατότητα παραγωγής νέων εξελιγμένων γευστικά και διατροφικά αντίστοιχα προϊόντων. Ωστόσο, η υψηλή πτητικότητα των αρωματικών και η ευαισθησία και των δύο κατηγοριών συστατικών στις περιβαλλοντικές συνθήκες καθιστά τη διατήρηση και τη σταθερότητα τους ιδιαίτερα δύσκολη. Η διεργασία του μικροεγκλεισμού αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο επίλυσης των προβλημάτων αυτών παρέχοντας τη δυνατότητα προστασίας και ελεγχόμενης απελευθέρωσης ευρείας γκάμας συστατικών τροφίμων. Ο μικροεγκλεισμός βασίζεται στη δημιουργία ενός προστατευτικού περιβλήματος, το οποίο ονομάζεται φορέας εγκλεισμού, γύρω από υγρά σταγονίδια ή σωματίδια της προς εγκλεισμό ουσίας, η οποία ονομάζεται ενεργό συστατικό. Η ξήρανση με ψεκασμό αποτελεί την πλέον διαδεδομένη τεχνική σε εφαρμογές διεργασίας μικροεγκλεισμού συστατικών τροφίμων με την οποία μίγματα σε μορφή υγρού μετατρέπονται σε στερεό τελικό προϊόν. Προκειμένου μια διεργασία μικροεγκλεισμού με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό να χαρακτηριστεί επιτυχής απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η μέγιστη συγκράτηση του προς εγκλεισμό συστατικού, με ελάχιστη ωστόσο περιεκτικότητα αυτού στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Βέβαια, το γεγονός που καθιστά την επιτυχία της διεργασίας αρκετά δύσκολη είναι η εξάρτηση της από μεγάλο αριθμό παραγόντων που αφορούν τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ενεργού συστατικού, του επιλεγμένου φορέα εγκλεισμού όπως και του γαλακτώματος τροφοδοσίας, αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκασμό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε ο μικροεγκλεισμός με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό συνθετικού αρώματος κεράσι και εκχυλίσματος δεντρολίβανου σε φορείς εγκλεισμού μαλτοδεξτρίνη και αραβικό κόμμι. Συγκεκριμένα, στόχος ήταν η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών παραγωγής του γαλακτώματος τροφοδοσίας και λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκασμό για τις οποίες επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των προς εγκλεισμό συστατικών. Στην περίπτωση του αρώματος κεράσι τα παραπάνω μεγέθη προσδιορίστηκαν για τα πέντε κύρια αρωματικά συστατικά αυτού, δηλαδή του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V), ενώ, όσον αφορά το εκχύλισμα, τα φαινολικά συστατικά και συγκεκριμένα τα φλαβονοειδή το ροσμαρινικό οξύ, η καρνοσόλη, το καρνοσικό οξύ και λοιπά φαινολικά διτερπένια ήταν αυτά που μετρήθηκαν.

Οι παράμετροι για τις οποίες αναζητήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες ήταν η αναλογία των φορέων εγκλεισμού, η συγκέντρωση του ενεργού συστατικού και η θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης και για τα δύο συστατικά, ενώ η προσθήκη γαλακτωματοποιητή και η μέθοδος ομογενοποίησης του γαλακτώματος τροφοδοσίας εξετάστηκαν μόνο στην περίπτωση του αρώματος. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του γαλακτώματος και εξετάστηκαν ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το γαλάκτωμα πραγματοποιήθηκε μικροσκοπική εξέταση και προσδιορίστηκε το φαινόμενο ιξώδες, ενώ στο τελικό προϊόν εγκλεισμού πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις - μετρήσεις ώστε να προσδιοριστεί η περιεχόμενη υγρασία, η απόδοση μικροεγκλεισμού, η οποία προσδιορίστηκε από τη σχέση  $[(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στη μικροκάψουλα}] / [(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στο γαλάκτωμα}] * 100$ , και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των ενεργών συστατικών, η οποία προσδιορίστηκε από τη σχέση  $[(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στον πυρήνα της μικροκάψουλας}] / [(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στη μικροκάψουλα}] * 100$ , μεγέθη τα

οποία καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της διεργασίας και αποτέλεσαν βασικό κριτήριο εύρεσης των βέλτιστων συνθηκών.

Εξετάζοντας την αναλογία της μαλτοδεξτρίνης (MD) προς το αραβικό κόμμα (GA), για σταθερή συγκέντρωση στερεών στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας ίση με 30 % (g στερεών/ 100 g γαλακτώματος), παρατηρήθηκε ότι η μερική αντικατάσταση της μαλτοδεξτρίνης από αραβικό κόμμα είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις μικροεγκλεισμού του αρώματος κεράσι. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν αναλογίες MD:GA ίσες με 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1 και μέγιστη απόδοση μικροεγκλεισμού σχεδόν για όλα τα αρωματικά συστατικά επιτεύχθηκε στην αναλογία 2:1, ενώ η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού όλων των συστατικών σε κάθε αναλογία ήταν μεγαλύτερη του 93 % καθώς, λόγω της υψηλής τους ευαισθησίας, σχεδόν όλη η ποσότητα που εκτίθεται στην επιφάνεια της μικροκάψουλας εξατμίζεται ή οξειδώνεται. Όσον αφορά τη συγκέντρωση του αρώματος στο γαλάκτωμα, για αναλογία MD:GA ίση με 2:1, η απόδοση μικροεγκλεισμού όλων των συστατικών ήταν σημαντικά υψηλότερη στην περίπτωση που εφαρμόστηκε σε ποσοστό 20 % επί των στερεών του γαλακτώματος συγκριτικά με εκείνη της τάξης του 10 %, ενώ η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού σε κάθε περίπτωση παρέμεινε υψηλή. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αναλογία MD:GA και η συγκέντρωση αρώματος που επιλέχθηκαν ως βέλτιστες ήταν οι 2:1 και 20 % επί των στερεών αντίστοιχα. Όταν στις παραπάνω συνθήκες μελετήθηκε η προσθήκη Tween 20, σε περιεκτικότητα 0.5 % επί των στερεών του γαλακτώματος, η διεργασία ευνοήθηκε σημαντικά με αύξηση της απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών. Εξετάζοντας την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων ομογενοποίησης διαπιστώθηκε ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι καθοριστική για την αποτελεσματικότητα της διεργασίας κυρίως λόγω της παραγωγής γαλακτωμάτων με διαφορετικό μέγεθος σταγονιδίων. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η μείωση του μεγέθους των σταγονιδίων είχε ως αποτέλεσμα αύξηση της απόδοσης μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών με μέγιστες τιμές να σημειώνονται στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων ενώ η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού ήταν εξίσου υψηλή σε κάθε περίπτωση. Όταν η εφαρμογή υπερήχων συνδυάστηκε με προσθήκη Tween 20 (0.5 % επί των στερεών), αν και οι αποδόσεις μικροεγκλεισμού δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά, οι τιμές της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού σημείωσαν μικρή αύξηση.

Τέλος, μελετώντας την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου του ξηραντήρα με ψεκασμό διαπιστώθηκε ότι η απόδοση μικροεγκλεισμού δεν επηρεάζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 140 στους 160 °C, περαιτέρω όμως αύξηση είχε ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση για τα περισσότερα αρωματικά συστατικά. Η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού ήταν ελαφρώς υψηλότερη στην περίπτωση των 160 °C. Συνεπώς ως βέλτιστη επιλέχθηκε η θερμοκρασία των 160 °C.

Συμπερασματικά, οι βέλτιστες συνθήκες μικροεγκλεισμού του αρώματος κεράσι ήταν αυτές για αναλογία φορέων (MD:GA) 2:1, συγκέντρωση αρώματος της τάξης του 20 % επί των στερεών, εφαρμογή Tween 20 σε ποσοστό 0.5 % των στερεών και υπερήχων ως μέθοδο ομογενοποίησης, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία εισόδου του ξηραντήρα με ψεκασμό στους 160 °C. Στις συνθήκες αυτές η μέση τιμή του φαινομένου ιξώδους του γαλακτώματος τροφοδοσίας ήταν 20 mPa.s, η μέση τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού

ήταν IA 43 %, B 42 %, BA 64 %, A 83 % και V 88 %, η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών ήταν μεγαλύτερη του 98 % και η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας ανήλθε στο 3.2 %. Όταν τα προϊόντα μικροεγκλεισμού της εφαρμογής των βέλτιστων συνθηκών επανεξετάστηκαν ύστερα από έξι μήνες η μέση τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού μειώθηκε, λόγω φαινομένων εξάτμισης και οξείδωσης, σε IA 36 %, B 35 %, BA 48 %, A 56 % και V 58%, η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών παρέμεινε μεγαλύτερη του 98 % και η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας αυξήθηκε στο 5.5 %.

Σχετικά με το μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών των υδατικών εκχυλισμάτων δενδROLίβανου, πειραματικής και μεγαλύτερης κλίμακας, τα συστατικά που προσδιορίστηκαν ήταν τα φλαβονοειδή και το ροσμαρινικό οξύ. Η συγκέντρωση στερεών στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 30 % (g στερεών/ 100 g γαλακτώματος). Μελετώντας τη συγκέντρωση του ενεργού συστατικού στο γαλάκτωμα για τιμές 10 και 20 % επί των στερεών παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα δε διέφεραν σημαντικά συνεπώς επιλέχθηκε η μικρότερη συγκέντρωση για λόγους εξοικονόμησης χρόνου και πρώτων υλών. Στη συνέχεια, εξετάστηκε η επίδραση της αναλογίας των φορέων εγκλεισμού στο γαλάκτωμα. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας εφαρμόστηκαν οι αναλογίες MD:GA 1:0, 4:1 και 2:1, και στο εκχύλισμα μεγαλύτερης κλίμακας οι 1:0 και 2:1. Τα αποτελέσματα της απόδοσης μικροεγκλεισμού οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη αραβικού κόμμεος σε συνδυασμό με μαλτοδεξτρίνη ευνόησε τη διεργασία μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών των υδατικών εκχυλισμάτων. Σε κάθε περίπτωση εκχυλίσματος και αναλογίας η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των συστατικών ξεπέρασε το 96 %. Τέλος, εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα ξήρανσης στο μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών του εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας με εφαρμογή των βέλτιστων συνθηκών συγκέντρωσης και αναλογίας φορέων τα οποία προσδιορίστηκαν ως 10 % και MD:GA 4:1 αντίστοιχα. Η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 140 στους 160 °C δε φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τη διεργασία μικροεγκλεισμού με αποτέλεσμα να επιλέγεται η υψηλότερη λόγω χαμηλότερου ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας στο τελικό προϊόν. Στις βέλτιστες συνθήκες μικροεγκλεισμού του εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας η μέση τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών ήταν 97 % και του ροσμαρινικού οξέος 100 %, η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού και για τα δύο συστατικά ήταν 97 % και η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας ήταν 3.1 %.

Κατά το μικροεγκλεισμό εκχυλισμάτων δενδROLίβανου με μίγμα ακετόνης:νερού, τα οποία περιείχαν φλαβονοειδή, ροσμαρινικό οξύ, καρνοσικό οξύ, καρνοσόλη και λοιπά φαινολικά διτερπένια, εξετάστηκε η εφαρμογή αποκλειστικά μαλτοδεξτρίνης και σε συνδυασμό με αραβικό κόμμι, σε αναλογία MD:GA 4:1, διατηρώντας σταθερή τη συγκέντρωση των στερεών στο γαλάκτωμα (30 %), την περιεκτικότητα ενεργού συστατικού (10 % επί των στερεών) και τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης (140 °C). Και στις δύο περιπτώσεις η απόδοση μικροεγκλεισμού όλων των συστατικών παρουσίασε παραπλήσιες τιμές, οι οποίες για τα φλαβονοειδή και το ροσμαρινικό οξύ ήταν μεγαλύτερες του 86 % ενώ για τα ολικά φαινολικά διτερπένια (καρνοσικό οξύ, καρνοσόλη και λοιπά φαινολικά διτερπένια) η μέγιστη τιμή ήταν 69 %. Η ίδια συμπεριφορά παρατηρήθηκε και για την

αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού η οποία ξεπέρασε το 90 % για τα φλαβονοειδή και το ροσμαρινικό οξύ, υπήρξε όμως ιδιαίτερα χαμηλή για τα ολικά φαινολικά διτερπένια με τη μέγιστη τιμή να είναι 36 %. Η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας του τελικού προϊόντος κυμάθηκε μεταξύ 3.5-3.9 %. Δεδομένης της αδυναμίας διάλυσης των φαινολικών διτερπενίων στο νερό μέρος αυτών χάθηκε κατά το στάδιο της συμπύκνωσης, ενώ παρατηρήθηκε και αδυναμία επαρκούς ομογενοποίησης στα οποία οφείλεται η μειωμένη απόδοση και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού αντίστοιχα. Κρίνεται σκόπιμη η αναζήτηση μεθόδων όπως η προσθήκη ελαίου στο εκχύλισμα με σκοπό τη συγκράτηση των αδιάλυτων στερεών κατά τη συμπύκνωση και την καλύτερη ομογενοποίηση του γαλακτώματος τροφοδοσίας.

## Microencapsulation of flavor and bioactive compounds by spray drying

### Abstract

Flavors as well as phenolic compounds are of great interest in the food industry as their application in food systems enables the production of new advanced products in taste and nutritional value. However, high volatility of flavors and the sensitivity of both categories of compounds to environmental conditions make their preservation and stability particularly difficult. Microencapsulation is a valuable tool for solving these problems by providing protection and controlled release of a wide range of food ingredients. Microencapsulation can be defined as the creation of a protective shell, called wall material, around liquid droplets or particles of the ingredient to be enclosed, which is called active ingredient. Spray drying is the most commonly used encapsulation technique in the food industry, in which mixtures in liquid form are converted into a solid final product. In order microencapsulation to be successfully applied by spraying drying, the maximum retention of the active ingredient is a necessary prerequisite, with a minimum content of it on the surface of the final product. The success of the process is quite demanding due to its dependence on a large number of factors related to the physicochemical properties of the active ingredient, the wall material, as well as the feeding emulsion and the operating conditions of the spray dryer.

In this diploma thesis the subject studied is the microencapsulation of cherry flavor and rosemary extract by spray drying using maltodextrin and gum arabic as wall materials. Aim of the study is to optimize the production of the feed emulsion and the operating conditions of the spray dryer by maximizing microencapsulation yield and efficiency in the final product. In the case of cherry flavor, the above values were determined for its five main flavor compounds, namely isoamyl acetate, benzaldehyde, benzyl acetate, anisaldehyde and vanillin, while in the case of rosemary extract the components determined were the phenolics.

The parameters for which the optimal conditions were sought were the ratio of the wall materials, the concentration of the active ingredient and the inlet temperature of the drying air for both active compounds, the addition of emulsifier and the emulsification method of the feed emulsion only for the flavor. For this purpose, specific properties of the emulsion and the final product were studied. Regarding the emulsion the studies performed were microscopic examination and determination of the viscosity. The final product was analyzed to determine the moisture content and the microencapsulation yield, which was determined by the ratio  $[(\text{g of active ingredient} / \text{g of solids}) \text{ in the microcapsule} / (\text{g of active ingredient} / \text{g of solids}) \text{ in emulsion}] * 100$ , as well as the microencapsulation efficiency, which was determined by the ratio  $[(\text{g of active ingredient} / \text{g of solids}) \text{ on the core of microcapsule}] / [(\text{g of active ingredient} / \text{g of solids}) \text{ on the microcapsule}] * 100$ , values which show the efficiency of the process and have been a key criterion for finding the optimal conditions.



While examining the ratio of maltodextrin (MD) to gum arabic (GA), for a constant concentration of solids in the feed emulsion equal to 30% (g of solids / 100 g of emulsion), it was observed that partial replacement of maltodextrin with gum arabic is necessary in order to achieve high values of microencapsulation yield of flavor compounds. To be more specific, the MD : GA ratios studied were 1:0, 3:1, 2:1 and 1:1. Maximum microencapsulation yield of each flavor compound was achieved in the ratio 2:1, while the value of microencapsulation efficiency of every compound in each ratio was greater than 93% as, due to their high sensitivity, almost all the amount exposed on the surface of the microcapsule evaporates or oxidizes. Regarding the concentration of the flavor in the emulsion, for MD:GA ratio equal to 2: 1, the microencapsulation yield of the compounds was significantly higher in the case that it was applied at a rate of 20 % of the emulsion solids compared to that of 10 %, while the microencapsulation efficiency in any case remained high. According to the above, the MD: GA ratio and the flavor concentration selected as optimal were 2: 1 and 20% of the solids respectively. When the addition of Tween 20 was studied in the above conditions, at a content of 0.5% of the solids, the process was significantly favored due to the increase of microencapsulation yield and efficiency. Examining the application of different emulsification methods, it was found that the choice of the appropriate method is crucial for the effectiveness of the process mainly due to the production of emulsions with different droplet sizes. In particular, it was observed that reduction of the droplet size resulted in increased microencapsulation yields with maximum values occurring in the case of ultrasound application while microencapsulation efficiency was equally high in each case. When the ultrasound application was combined with the addition of Tween 20 (0.5% of the solids), while the microencapsulation yield did not change significantly, microencapsulation efficiency increased slightly.

Finally, when the effect of inlet air temperature of the dryer was studied, it was found that microencapsulation yield is not affected by the increase of temperature from 140 to 160 °C, but further increase resulted in significant reduction for most flavor compounds, while microencapsulation efficiency showed increased values when higher temperatures were applied. Therefore, temperature of 160 °C was chosen as optimum.

To conclude, based on the obtained results the optimal conditions of cherry flavor microencapsulation by spray drying were those for ratio (MD: GA) 2: 1, flavor concentration of 20% of solids, application of Tween 20 at 0.5% of solids and ultrasounds as emulsification method, maintaining constant inlet air temperature at 160 °C. In these conditions the average value of viscosity was 20 mPa.s, the average value of microencapsulation yield was IA 43%, B 42%, BA 64%, A 83% and V 88%, the average value of microencapsulation efficiency was greater than 98 % for every compound and the average value of the moisture content was 3.2%. When the microencapsulation products of the optimal conditions were reanalyzed after six months, the average value of microencapsulation yield decreased, due to evaporation and oxidation, to IA 36 %, B 35 %, BA 48 %, A 56 % and V 58%, the average value of microencapsulation efficiency of every flavor compound remained greater than 98% and the mean value of the moisture content increased to 5.5 %.

Regarding the microencapsulation of the phenolic compounds of rosemary experimental and larger-scale aqueous extracts, the compounds identified were flavonoids and rosmarinic

acid. The concentration of solids in the feed emulsion was constant and equal to 30 % (g of solids / 100 g of emulsion). Studying the concentration of the active ingredient in the emulsion for values of 10 and 20 % of the solids, it was observed that the results did not differ significantly, therefore the smallest concentration was chosen in order to save time and raw materials. The effect of the ratio of wall materials was then examined. Specifically, in the case of the experimental scale extract, the ratios MD:GA applied were 1:0, 4:1 and 2:1, while in the larger scale extract the ratios applied were 1:0 and 2:1. The results of microencapsulation yield led to the conclusion that the addition of gum arabic in combination with maltodextrin favored the process of microencapsulation of the phenolic components of aqueous extracts. In any case of extract and ratio, the average value of microencapsulation efficiency of the compounds was greater than 96%. Finally, the effect of the drying air inlet temperature on the microencapsulation of the phenolic compounds of the experimental scale extract was examined by applying the optimal conditions of concentration and ratio of wall materials, which were determined as 10 % and MD:GA 4:1 respectively. The increase in temperature from 140 to 160 °C did not significantly affect the microencapsulation process, so the highest temperature was chosen as optimal due to the lower percentage of moisture content in the final product. In optimal microencapsulation conditions of the experimental scale extract the mean value of microencapsulation yield of flavonoids was 97 % and of the rosmarinic acid was 100 %, the mean value of microencapsulation efficiency of both compounds was 97% and the mean value of moisture content was 3.1 %.

During the microencapsulation of rosemary extracts with a mixture of acetone and water, which contained flavonoids, rosmarinic acid, carnosic acid, carnosol and other phenolic diterpenes, the application of maltodextrin exclusively and in combination with gum arabic, in MD:GA 4:1 ratio, was examined, maintaining constant concentration of solids in the emulsion (30 %), active ingredient content (10 % of the solids) and the drying air inlet temperature (140 °C). In both cases, microencapsulation yield of all compounds had similar value which for flavonoids and rosmarinic acid was higher than 86 %, while for total phenolic diterpenes (carnosic acid, carnosol and other phenolic diterpenes) the maximum value was 69 %. The same behavior was observed in microencapsulation efficiency which exceeded the value of 90 % for flavonoids and rosmarinic acid, but was particularly low for total phenolic diterpenes with a maximum value of 36 %. The average moisture content of the final product ranged between 3.5-3.9%. Due to the inability to dissolve phenolic diterpenes in water some of them were lost during the condensation stage, but there was also lack of adequate homogenization, which were the reasons of reduced microencapsulation yield and efficiency respectively. The search of methods such as adding oil to the extract would be particularly beneficial in order to retain insoluble solids during condensation and achieve better homogenization of the feed emulsion.

# Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	13
2. Η διεργασία του εγκλεισμού.....	15
2.1 Ορισμός εγκλεισμού.....	15
2.2 Μικροεγκλεισμός .....	15
2.3 Στόχοι και πλεονεκτήματα της διεργασίας εγκλεισμού .....	16
2.4 Φορείς εγκλεισμού.....	17
2.4.1 Κριτήρια επιλογής φορέα εγκλεισμού .....	17
2.4.2 Πολυσακχαρίτες .....	18
2.4.2.1 Μαλτοδεξτρίνες .....	18
2.4.2.2 Αραβικό κόμμι.....	18
2.5 Διεργασίες εγκλεισμού .....	19
2.5.1 Ξήρανση με ψεκασμό (Spray drying) .....	20
2.5.1.1 Περιγραφή της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό .....	20
3. Εγκλεισμός συστατικών τροφίμων .....	23
3.1 Βιοδραστικά συστατικά.....	23
3.1.1 Βιοδραστικά συστατικά με αντιοξειδωτική δράση.....	26
3.2 Αρωματικά συστατικά.....	26
3.3 Εκτίμηση απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού.....	27
3.3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση μικροεγκλεισμού .....	27
3.3.1.1 Είδος και ιδιότητες φορέα εγκλεισμού.....	29
3.3.1.2 Χαρακτηριστικά του ενεργού συστατικού .....	34
3.3.1.3 Μέθοδοι παραγωγής/ χαρακτηριστικά γαλακτώματος τροφοδοσίας.....	36
3.3.1.4 Λειτουργικές παράμετροι της ξήρανσης με ψεκασμό.....	42
4. Πειραματικό Μέρος – Υλικά και Μέθοδοι.....	55
4.1 Σχεδιασμός Πειραμάτων .....	55
4.2 Υλικά.....	56
4.2.1 Υλικά προς εγκλεισμό.....	56
4.2.2 Φορείς εγκλεισμού.....	56
4.3 Πειραματική Διαδικασία .....	56
4.3.1 Παραγωγή προϊόντων μικροεγκλεισμού .....	56
4.3.1.1 Παραγωγή γαλακτώματος.....	57
4.3.1.2 Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying) .....	58
4.4 Αναλύσεις- Μετρήσεις.....	59

4.4.1 Προσδιορισμός συστατικών.....	59
4.4.2 Προσδιορισμός επιφανειακού και εγκλεισμένου ενεργού συστατικού στο τελικό προϊόν.....	60
4.4.3 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού, Επιφανειακής Περιεκτικότητας και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού .....	61
4.4.4 Μέτρηση φαινόμενου ιξώδους και προσδιορισμός ρεολογικής συμπεριφοράς .	62
4.4.5 Μικροσκοπική εξέταση γαλακτωμάτων .....	62
4.4.6 Προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας στο προϊόν εγκλεισμού .....	63
4.5 Στατιστική Επεξεργασία .....	63
5. Αποτελέσματα - Συζήτηση.....	64
5.1 Αποτελέσματα μικροεγκλεισμού αρώματος κεράσι .....	64
5.1.1 Αρωματικά συστατικά του αρώματος κεράσι .....	64
5.1.2 Ιδιότητες του γαλακτώματος τροφοδοσίας.....	65
5.1.3 Χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος .....	66
5.1.3.1 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού (ΜΕΥ), Επιφανειακής Περιεκτικότητας (SCC) και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού (ΜΕΕ) των προϊόντων μικροεγκλεισμού για τις διαφορετικές παραμέτρους που εξετάστηκαν.	66
5.1.3.2 Περιεχόμενη υγρασία τελικού προϊόντος.....	77
5.1.3.3 Σταθερότητα προϊόντος εγκλεισμού .....	78
5.2 Αποτελέσματα μικροεγκλεισμού φαινολικών συστατικών εκχυλισμάτων δενδρολίβανου.....	80
5.2.1 Φαινολικά συστατικά που προσδιορίστηκαν .....	80
5.2.2 Χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος .....	81
5.2.2.1 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού (ΜΕΥ) και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού (ΜΕΕ) των φαινολικών συστατικών για τις διαφορετικές παραμέτρους που εξετάστηκαν .....	81
5.2.2.2 Περιεχόμενη υγρασία τελικού προϊόντος.....	86
6. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	93
Παράρτημα.....	103

# 1. Εισαγωγή

Ο μικροεγκλεισμός συστατικών τροφίμων με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό αποτελεί την πλέον δημοφιλή και συνήθη τεχνική και έχει εφαρμοστεί για μια αρκετά μεγάλη ποικιλία συστατικών μεταξύ των οποίων αρωματικά και φαινολικά τα οποία ξεχωρίζουν λόγω της αντιοξειδωτικής τους δράσης. Η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός προστατευτικού περιβλήματος έγκειται στο γεγονός ότι η πλειονότητα των συστατικών τροφίμων, όπως και τα προαναφερθέντα, εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία σε περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμότητα και η παρουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα να υφίστανται αλλοίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους και κατ' επέκταση να χάνονται οι πολύτιμες ιδιότητές τους. Βέβαια, η διεργασία του εγκλεισμού πέραν του προστατευτικού της χαρακτήρα, ο οποίος εξασφαλίζει σταθερότητα και συνεπώς αυξημένο χρόνο ζωής, δίνει ακόμη τη δυνατότητα ευκολότερου χειρισμού, με τη μετατροπή υγρών συστατικών σε στερεό τελικό προϊόν, αλλά και της ελεγχόμενης απελευθέρωσης των εγκλεισμένων συστατικών. Όλα τα παραπάνω συντελούν στη δημιουργία νέων εξελιγμένων προϊόντων, με ιδιότητες που δε θα μπορούσαν να επιτευχθούν υπό άλλες συνθήκες, οι οποίες μπορεί να αφορούν τόσο την γευστική ικανοποίηση του καταναλωτή όσο και την πρόωθηση της υγείας του. Τα τρόφιμα που έχουν εμπλουτιστεί ή ενισχυθεί με προϊόντα εγκλεισμού αρωματικών ή αντιοξειδωτικών συστατικών εμφανίζουν αρκετά μεγάλη ποικιλία, μερικά παραδείγματα εκ των οποίων αποτελούν διάφορα προϊόντα ζαχαροπλαστικής και αρτοποιείας, γαλακτοκομικά προϊόντα, αναψυκτικά, χυμοί, ενεργειακά ποτά και μπάρες.

Σε εφαρμογές ξήρανσης με ψεκασμό οι ουσίες που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων ως φορείς εγκλεισμού ανήκουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες είναι τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες, με τους τελευταίους να αποτελούν την συνηθέστερη επιλογή. Ωστόσο, η επιλογή του φορέα δεν είναι μια εύκολη διαδικασία διότι εξαρτάται κυρίως από το προς εγκλεισμό συστατικό. Σε γενικές γραμμές ο μικροεγκλεισμός αποτελεί μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτητική διεργασία καθώς είναι πολλοί οι παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Συγκεκριμένα, η φύση τόσο του φορέα όσο και του προς εγκλεισμό συστατικού, τα χαρακτηριστικά του σχηματιζόμενου γαλακτώματος, όπως και οι συνθήκες λειτουργίας του ξηραντήρα πρέπει να μελετηθούν σε βάθος ώστε να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση εγκλεισμού, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα χαμηλή περιεκτικότητα του προς εγκλεισμό συστατικού στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος, το οποίο βρίσκεται εκτεθειμένο σε συνθήκες αλλοίωσης, όπως φαινόμενα οξείδωσης.

Ο περισσότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τον μικροεγκλεισμό αρωματικών και αντιοξειδωτικών συστατικών εστιάζουν στην αναζήτηση βέλτιστων συνθηκών προτίστως όσον αφορά τη σύνθεση και τα χαρακτηριστικά του γαλακτώματος τροφοδοσίας και δευτερευόντως της λειτουργίας του ξηραντήρα. Ο μεγάλος αριθμός των ερευνών που μελετούν το μικροεγκλεισμό, κυρίως αρωματικών συστατικών, έγκειται στο γεγονός ότι χαρακτηριστικά τους, όπως η υψηλή πτητικότητα, καθιστούν δύσκολο το χειρισμό τους. Ακόμη, δεδομένης της ποικιλίας των αρωματικών συστατικών δημιουργείται και η ανάγκη εύρεσης διαφορετικών βέλτιστων συνθηκών για κάθε διαφορετική περίπτωση. Αντίθετα, η διεργασία μικροεγκλεισμού αντιοξειδωτικών συστατικών, αν και

επίσης περίπλοκη και αντικείμενο αρκετών μελετών, εμφανίζει μεγαλύτερη ευκολία συγκριτικά με εκείνη των πτητικών αρωματικών συστατικών.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών εγκλεισμού με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό συνθετικού αρώματος κεράσι και εκχυλίσματος δενδρολίβανου σε φορείς εγκλεισμού μαλτοδεξτρίνη και αραβικό κόμμι. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η αναλογία των φορέων, όταν αυτοί εφαρμόστηκαν ως μίγμα, η συγκέντρωση των προς εγκλεισμό συστατικών, η προσθήκη ή μη γαλακτωματοποιητή, η μέθοδος ομογενοποίησης και τέλος η θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν χαρακτηριστικά του γαλακτώματος τροφοδοσίας, συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε μέτρηση του φαινόμενου ιξώδους και μικροσκοπική παρατήρηση του γαλακτώματος, καθώς και ιδιότητες του τελικού προϊόντος και συγκεκριμένα η απόδοση και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των προς εγκλεισμό συστατικών, αλλά και η περιεχόμενη υγρασία.

## 2. Η διεργασία του εγκλεισμού

### 2.1 Ορισμός εγκλεισμού

Ως εγκλεισμός ορίζεται η διεργασία κατά την οποία ένα συστατικό, το οποίο ονομάζεται ενεργό και μπορεί να βρίσκεται σε υγρή, αέρια ή και στερεή φάση, ενσωματώνεται μέσα σε ένα άλλο συστατικό, το οποίο ονομάζεται φορέας εγκλεισμού, και μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα υλικά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σωματιδίων, των οποίων η διάμετρος κυμαίνεται στη κλίμακα των νανομέτρων (νανο-σωματίδια), μικρομέτρων (μικρο-σωματίδια) μέχρι και των χιλιοστών (μακρο-σωματίδια) (Jafari et al., 2008, Ray et al., 2016). Το προς εγκλεισμό συστατικό, εκτός από ενεργό συστατικό, καλείται και πυρήνας, επικαλυμμένο συστατικό, παγιδευμένο υλικό, υλικό πλήρωσης ή εσωτερική φάση. Ο φορέας εγκλεισμού καλείται υλικό τοιχώματος, επικαλυπτικό υλικό, επικαλυπτικό μέσο, μεμβράνη, μήτρα, κέλυφος, υπόστρωμα, ακόμα και τοίχωμα (Risch, 1995, Gharsallaoui et al., 2007). Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που αφορούν τις χημικές ιδιότητες του ενεργού συστατικού, τις ιδιότητες του φορέα αλλά και την τεχνική, καθώς και τις συνθήκες πραγματοποίησης της διεργασίας εγκλεισμού (I. Goubet et al., 1998, Madene et al., 2006).

Η ανάπτυξη της τεχνικής του εγκλεισμού, όσον αφορά συστατικά τροφίμων και συγκεκριμένα αρωματικών συστατικών, ανάγεται ιστορικά στο 1930, ενώ η πρώτη εφαρμογή της για εμπορικούς σκοπούς πραγματοποιήθηκε το 1954 έτος κατά το οποίο οι Green και Shceicher χρησιμοποίησαν την διεργασία, στα πλαίσια την έρευνας τους για την παραγωγή αντιγραφικού χαρτιού απαλλαγμένου από άνθρακα (Shahidi et al., 1993, Dziezak et al., 1988). Από τότε μέχρι σήμερα η διεργασία έχει εξελιχθεί σημαντικά και βρίσκει εφαρμογή σε πολυάριθμους τομείς της βιομηχανίας όπως στον κλάδο των φαρμάκων, των καλλυντικών, των τροφίμων, της γεωργίας, της βιοτεχνολογίας και της κλωστοϋφαντουργίας.

### 2.2 Μικροεγκλεισμός

Ως μικροεγκλεισμός (ή μικροενθυλάκωση) ορίζεται η τεχνολογία ενθυλάκωσης στερεών, υγρών ή αέριων συστατικών σε μικροκάψουλες, οι οποίες μπορούν να απελευθερώσουν το περιεχόμενό τους, με ελεγχόμενο ρυθμό, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η τεχνολογία του μικροεγκλεισμού βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων για περισσότερα από 70 χρόνια σε διεργασίες εγκλεισμού συστατικών όπως μέσα οξίνισης, λίπη, αρωματικά και άλλα. Το μέγεθος, το οποίο κυμαίνεται από 1.0-5000 μm, και το σχήμα της μικροκάψουλας ποικίλει και εξαρτάται από το υλικό και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της. Προκειμένου η μικροκάψουλα να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις εγκλεισμού κάθε ενεργού συστατικού υπάρχουν παράμετροι που μπορούν να τροποποιηθούν, όπως η σύνθεσή της, ο μηχανισμός απελευθέρωσης, το μέγεθος της, η τελική φυσική μορφή της, αλλά και το κόστος (King, 1995, Ray et al., 2016).

Οι περισσότερες μικροκάψουλες είναι μικρές σφαίρες με διαμέτρους μεταξύ μερικών μικρομέτρων και μερικών χιλιοστών. Ωστόσο, πολλές από αυτές τις μικροκάψουλες έχουν μικρή ομοιότητα με αυτές τις απλές σφαίρες. Στην πραγματικότητα, τόσο το μέγεθος όσο και το σχήμα των σχηματιζόμενων μικροσωματιδίων εξαρτώνται από τα υλικά και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους. Οι διαφορετικοί τύποι μικροκάψουλας παράγονται από μια μεγάλη ποικιλία φορέων και διεργασιών εγκλεισμού. Ανάλογα με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του πυρήνα, τη σύνθεση του τοιχώματος και τη χρησιμοποιούμενη τεχνική μικροεγκλεισμού, μπορούν να ληφθούν διαφορετικοί τύποι σωματιδίων οι οποίοι, σε γενικά πλαίσια, ταξινομούνται σε διάφορες αυθαίρετες και επικαλυπτόμενες ταξινομήσεις. Μια τέτοια ταξινόμηση είναι ο εγκλεισμός μήτρας. Πιο συγκεκριμένα, αυτή είναι η απλούστερη δομή στην οποία μια σφαίρα περιβάλλεται από ένα τοίχωμα ομοιόμορφου πάχους. Σε αυτή τη δομή το ενεργό συστατικό εντοπίζεται σε διάφορα βάθη στο εσωτερικό του τοιχώματος. Αυτό το είδος μικροκάψουλας έχει ορισθεί ως μονοσωματιδιακό. Ωστόσο, είναι δυνατό να παρασκευασθούν μικροκάψουλες στις οποίες υπάρχουν πολλαπλοί πυρήνες ενσωματωμένοι σε μια συνεχή μήτρα ενός φορέα εγκλεισμού. Αυτός ο τύπος δομής ονομάζεται δομή πολλαπλών πυρήνων (Gharsallaoui et al., 2007, Desai and Park, 2005b).

## 2.3 Στόχοι και πλεονεκτήματα της διεργασίας εγκλεισμού

Η εφαρμογή της τεχνικής του εγκλεισμού στον κλάδο των τροφίμων, έδωσε την δυνατότητα ανάπτυξης προϊόντων τα οποία υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατο να δημιουργηθούν. Πιο συγκεκριμένα, εγκλείοντας ένα επιθυμητό συστατικό παρέχονται οι εξής δυνατότητες (Ray et al., 2016, Gouin et al., 2004):

1. Προστασία και αποφυγή αλλοίωσης των συστατικών του πυρήνα από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως θερμότητα, υγρασία, αέρας και ηλιακή ακτινοβολία,
2. Μείωση ή και καθυστέρηση της εξάτμισης, μετανάστευσης του εγκλεισμένου συστατικού στο εξωτερικό περιβάλλον,
3. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του αρχικού συστατικού μπορούν να τροποποιηθούν, με αποτέλεσμα τον ευκολότερο χειρισμό του,
4. Ελεγχόμενη απελευθέρωση του ενεργού συστατικού,
5. Συγκάλυψη ανεπιθύμητων γεύσεων, οσμών,
6. Δημιουργία φράγματος μεταξύ του ενεργού συστατικού και των υπόλοιπων συστατικών του προϊόντος, με αποτέλεσμα την προστασία των ευαίσθητων συστατικών του τροφίμου από ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις,

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι το βασικό γεγονός που καθιστά την τεχνική του εγκλεισμού τόσο σημαντική και ευρέως εφαρμόσιμη στη βιομηχανία των τροφίμων, είναι ότι προσφέρει τη δυνατότητα τροποποίησης πολυάριθμων φυσικοχημικών ιδιοτήτων των συστατικών των τροφίμων. Συγκεκριμένα, η μετατροπή ενός υγρού μίγματος σε σκόνη διευκολύνει αρκετά τον χειρισμό της στις βιομηχανικές εφαρμογές, ενώ παράλληλα μειώνει και το κόστος αποθήκευσης λόγω μειωμένου όγκου προϊόντος. Επιπλέον, με τον εγκλεισμό επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι χρόνοι ζωής των λειτουργικών και των πτητικών συστατικών



του προϊόντος, καθώς προστατεύονται από συνθήκες που θα τα υποβάθμιζαν. Τέλος, επιτυγχάνεται η συνύπαρξη συστατικών ασύμβατων μεταξύ τους, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εξελιγμένων προϊόντων.

## 2.4 Φορείς εγκλεισμού

Μεταξύ όλων των υλικών, αυτά που βρίσκουν την πιο ευρεία εφαρμογή στη διεργασία εγκλεισμού συστατικών τροφίμων είναι οι πολυσακχαρίτες. Το άμυλο και τα παράγωγά του και η κυτταρίνη και τα παράγωγά της είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως. Φυτικά εκκρίματα και εκχυλίσματα, θαλάσσια εκχυλίσματα αλλά και μικροβιακοί όπως και ζωικοί πολυσακχαρίτες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε συστήματα τροφίμων. Εκτός από τους φυσικούς και τροποποιημένους πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια είναι επίσης κατάλληλοι φορείς εγκλεισμού. Παραδείγματα των πιο κοινών πρωτεϊνών γάλακτος και ορού γάλακτος που εφαρμόζονται σε διεργασίες εγκλεισμού είναι οι καζεΐνες, η ζελατίνη και η γλουτένη. Μεταξύ των λιπιδικών υλικών που είναι κατάλληλα για εφαρμογές στα τρόφιμα περιλαμβάνονται λιπαρά οξέα και λιπαρές αλκοόλες, κηροί (κερί μέλισσας, κηρός καρναούμπα (carnauba), κηρός candellia), γλυκερίδια και φωσφολιπίδια. Εκτός από τα προαναφερθέντα, συναντάται η χρήση και άλλων υλικών όπως PVP (Povidone, 1-ethenylpyrrolidin-2-one), παραφίνη, shellac και κάποια ανόργανα υλικά (Wandrey et al., 2009).

### 2.4.1 Κριτήρια επιλογής φορέα εγκλεισμού

Η επιλογή του κατάλληλου φορέα εγκλεισμού είναι καθοριστική για την επίτευξη υψηλής απόδοσης εγκλεισμού και τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος. Ο ιδανικός φορέας εγκλεισμού θα πρέπει να εμφανίζει τα εξής χαρακτηριστικά (S. Ray et al., 2016, Desai and Park, 2005b):

1. Ικανοποιητικά ρεολογικά χαρακτηριστικά σε υψηλές συγκεντρώσεις και εύκολο χειρισμό,
2. Ικανότητα διασποράς ή γαλακτωματοποίησης του ενεργού συστατικού ώστε να δημιουργείται σταθερό γαλάκτωμα,
3. Να μην αντιδρά με τα συστατικά του πυρήνα τόσο κατά τη διεργασία όσο και κατά την αποθήκευση,
4. Ικανότητα εγκλεισμού και συγκράτησης του ενεργού συστατικού μέσα στην δομή του κατά την διεργασία ή την αποθήκευση,
5. Ικανότητα πλήρους αποβολής του διαλύτη ή άλλων συστατικών κατά την διεργασία εγκλεισμού με ξήρανση ή άλλων τεχνικών,
6. Ικανότητα υψηλής προστασίας των συστατικών του πυρήνα από περιβαλλοντικές συνθήκες (όπως οξυγόνο, θερμότητα, ηλιακή ακτινοβολία, αέρα και υγρασία),
7. Διαλυτότητα στους κοινούς διαλύτες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων (όπως νερό, αιθανόλη),
8. Να είναι ασφαλές προς κατανάλωση (GRAS)
9. Να είναι γευστικά ουδέτερος,

10. Να έχει χαμηλό κόστος,
11. Να μην είναι σε έλλειψη.

## 2.4.2 Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούν τους πλέον διαδεδομένους φορείς εγκλεισμού στην βιομηχανία τροφίμων. Πιο αναλυτικά, χαρακτηριστικά τους όπως η σχετικά χαμηλή τους τιμή, η ουδετερότητα στη γεύση, το χαμηλό ιξώδες σε υψηλή συγκέντρωση στερεών, η υψηλή διαλυτότητα, καθώς και ότι είναι ασφαλή προς κατανάλωση είναι κάποιοι από τους λόγους που τους καθιστούν τόσο δημοφιλείς ( Gharsallaoui et al., 2007, Jafari et al., 2008). Οι πολυσακχαρίτες διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες οι οποίες είναι τα παράγωγα αμύλου, όπως αμυλόζη, αμυλοπηκτίνη, δεξτρίνες, μαλτοδεξτρίνες, πολυδεξτρόζη και σιρόπια, τα παράγωγα κυτταρίνης, φυτικά εκκρίματα και εκχυλίσματα, όπως αραβικό κόμμι, κόμμι τραγκαάνθης, κόμμι καράγια, κόμμι mesquite, γαλακτομαννάνες, πηκτίνες και διαλυτοί πολυσακχαρίτες σόγιας, θαλάσσια εκχυλίσματα, όπως καρραγενάνες και αλγινικό άλας, και πολυσακχαρίτες μικροβιακής και ζωικής προέλευσης όπως δεξτράνη, χιτοζάνη, ξανθάνη και γελλάνη (Murugesan et al., 2012, Nedovic et al., 2011). Μεταξύ των πολυσακχαριτών, οι μαλτοδεξτρίνες και το αραβικό κόμμι έχουν εφαρμοστεί ως φορείς εγκλεισμού σε πολυάριθμες μελέτες διεργασιών εγκλεισμού, κυρίως με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό, δίνοντας υψηλές αποδόσεις εγκλεισμού τόσο αρωματικών όσο και βιοδραστικών συστατικών.

### 2.4.2.1 Μαλτοδεξτρίνες

Οι μαλτοδεξτρίνες ανήκουν στην κατηγορία των παραγώγων αμύλου και πιο συγκεκριμένα αποτελούν προϊόντα υδρόλυσης αυτού. Η υδρόλυση του αμύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί με χημικές ή βιοχημικές διεργασίες με χρήση οξέων ή ενζύμων αντίστοιχα. Ανάλογα με τον βαθμό υδρόλυσης, χρησιμοποιείται ένας δείκτης ο οποίος ονομάζεται ισοδύναμο δεξτρόζης (Dextrose equivalent, DE) για τον χαρακτηρισμό των παραγώγων. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή DE, τόσο μικρότερη είναι η αλυσίδα γλυκόζης και τόσο υψηλότερη είναι η γλυκύτητα και η διαλυτότητα (Murugesan et al., 2012). Παρ' όλο που οι μαλτοδεξτρίνες πληρούν αρκετές από τις προδιαγραφές ενός καλού φορέα εγκλεισμού όπως χαμηλή τιμή, ουδέτερη γεύση, χαμηλό ιξώδες σε υψηλή περιεκτικότητα στερεών, υψηλή προστασία του ενεργού συστατικού από φαινόμενα οξειδωσης, εμφανίζουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα όπως η μειωμένη ικανότητα γαλακτωματοποίησης, σταθερότητας γαλακτώματος και συγκράτησης λιπαρών συστατικών (Kenyon, 1995, Gharsallaoui et al., 2007). Έχει παρατηρηθεί ότι η προστασία και η συγκράτηση πλήθους ενεργών συστατικών, μεταξύ των οποίων και τα πτητικά, είναι άμεσα συσχετισμένη με την τιμή του DE. Πιο αναλυτικά, αυξανόμενου του DE αυξάνεται η προστασία του ενεργού συστατικού έναντι της οξειδωσης, αλλά επιτυγχάνονται και υψηλότερες αποδόσεις εγκλεισμού (Sheu and Rosenberg, 1993, Re, 1998, Hogan et al. 2003). Ακόμη σε έρευνα που διεξήχθη από τους Raja et al. (1989) αποδείχθηκε ότι οι μαλτοδεξτρίνες με τιμές του DE από 10 έως 20 είναι οι καταλληλότερες για χρήση ως φορέων εγκλεισμού αρωματικών συστατικών καθώς σε αυτό το εύρος παρατηρήθηκε η υψηλότερη συγκράτηση.

### 2.4.2.2 Αραβικό κόμμι

Το αραβικό κόμμα (Arabic / Acacia Gum) αποτελεί την πιο δημοφιλή και συνήθη επιλογή ως φορέα εγκλεισμού λιπαρών και αρωματικών συστατικών σε διεργασίες ξήρανσης με ψεκασμό καθώς πέραν της γευστικής του ουδετερότητας, του σχετικά χαμηλού ιξώδους σε υψηλή συγκέντρωση στερεών και την ασφάλή του κατά την κατανάλωση, εμφανίζει εξαιρετική ικανότητα γαλακτωματοποίησης και συγκράτησης πτητικών συστατικών (Rosenberg et al., 1990, Thevenet, 1995). Το αραβικό κόμμα είναι ένα πολυμερές που αποτελείται από D-γλυκουρονικό οξύ, L-ραμνόζη, D-γαλακτόζη και L-αραβινόζη, με περίπου 2% πρωτεΐνη. Οι ιδιότητες γαλακτωματοποίησης του αραβικού κόμματος αποδίδονται στην παρουσία αυτού του πρωτεϊνικού κλάσματος (Jafari et al., 2008, Dickinson, 2003). Ωστόσο, αν και παρουσιάζει σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού φορέα εγκλεισμού τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της τιμής του, μειωμένη διαθεσιμότητα και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Όλα τα παραπάνω έχουν λειτουργήσει αποτρεπτικά στη χρήση του αραβικού κόμματος από την βιομηχανία τροφίμων και έχουν δημιουργήσει την ανάγκη περιορισμού του η οποία επιτυγχάνεται με δημιουργία μίγμάτων φορέων εγκλεισμού, με αρκετά συχνή την εφαρμογή μίγματος μαλτοδεξτρίνης με αραβικό κόμμα, ή και πλήρους αντικατάστασης αυτού από άλλους φορείς εγκλεισμού (Chranioti and Tzia, 2013, Jafari et al., 2008, Reineccius, 2006).

## 2.5 Διεργασίες εγκλεισμού

Με το πέρασ του χρόνου και την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει δημιουργηθεί μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων εγκλεισμού που μπορούν να εφαρμοστούν από την βιομηχανία τροφίμων. Όσον αφορά τον εγκλεισμό αρωματικών και βιοδραστικών συστατικών οι διεργασίες που βρίσκουν κυρίως εφαρμογή θα μπορούσαν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, τις χημικές και τις μηχανικές. Στις χημικές διεργασίες ανήκουν ο μοριακός εγκλεισμός (molecular inclusion), η συγκρυστάλλωση (co-crystallization) και η απλή και σύνθετη συσσωμάτωση (simple and complex coacervation), ενώ στις μηχανικές η ξήρανση με ψεκασμό (spray drying), η ξήρανση υπό κατάψυξη (freeze drying), η ψύξη / κατάψυξη με ψεκασμό (spray cooling / chilling), ο εγκλεισμός με ρευστοστερεά κλίνη (fluidized bed coating) και η εκβολή ή εξώθηση (extrusion) (Madene et al., 2006). Δεδομένου ότι η πλειονότητα των προς εγκλεισμό συστατικών τροφίμων βρίσκονται υπό την μορφή ρευστού οι διεργασίες που εφαρμόζονται συχνότερα είναι αυτές που βασίζονται στη ξήρανση. Για παράδειγμα, σε ποσοστό 80-90 % της εφαρμογής εγκλεισμού αρωματικών συστατικών εφαρμόζεται η μέθοδος της ξήρανσης με ψεκασμό, ενώ ακολουθούν η ψύξη / κατάψυξη με ψεκασμό σε ποσοστό 5-10 % και η εκβολή ή εξώθηση σε ποσοστό 2-3% των περιπτώσεων (Gupta et al., 2016).

Προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος εγκλεισμού είναι αρκετές οι παράμετροι οι οποίες πρέπει να εξεταστούν. Πιο αναλυτικά, πρέπει να ληφθούν υπ' όψη η φυσικοχημικές ιδιότητες τόσο του ενεργού συστατικού όσο και του φορέα εγκλεισμού, το επιθυμητό μέγεθος σωματιδίων και η πυκνότητα του τελικού προϊόντος που πρόκειται να εφαρμοστεί στο τρόφιμο, ο επιθυμητός μηχανισμός απελευθέρωσης, οι συνθήκες αποθήκευσης του τροφίμου στο οποίο θα ενσωματωθεί το προϊόν εγκλεισμού, το κόστος της διεργασίας αλλά και το αν αυτή είναι ικανή να παράγει ικανοποιητικές ποσότητες εγκλεισμένου προϊόντος διατηρώντας σταθερή την ποιότητα και την παροχή (Re 1998, Shadidi and Han 1993, Zuidam and Simoni, 2010)

## 2.5.1 Ξήρανση με ψεκασμό (Spray drying)

Η αρχή των ξηραντήρων με ψεκασμό τοποθετείται το 1933 στις ΗΠΑ (Hayashi, 1989). Η ξήρανση με ψεκασμό είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, και οικονομική τεχνική, για τον εγκλεισμό πολυάριθμων συστατικών των τροφίμων. Συνδυάζει τη δυνατότητα υψηλού ποσοστού παραγωγής με ελάχιστο λειτουργικό κόστος, γεγονός που την καθιστά μια τεχνική η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε βιομηχανική κλίμακα (Saifullah et al., 2019). Αποτελεί μια από τις καλύτερες μεθόδους μετατροπής υγρών συστατικών σε στερεά ή ημιστερεά σωματίδια σε ένα μόνο βήμα. Η εξάτμιση πραγματοποιείται καθώς το ρευστό έρχεται σε επαφή με ζεστό αέρα. Δεδομένου ότι η εξάτμιση είναι ταχύτατη, δεν επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό η θερμοκρασία των σταγονιδίων και ως εκ τούτου η ποιότητα του προϊόντος δεν αλλάζει ούτε υποβαθμίζεται (Roustapour et al., 2009).

Η διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό οδηγεί στην παραγωγή υψηλής ποιότητας τελικού προϊόντος το οποίο παρουσιάζει χαμηλά επίπεδα ενεργότητας νερού και μειωμένο βάρος με αποτέλεσμα την ευκολότερη αποθήκευση και μεταφορά. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος εξαρτώνται κυρίως από τον ρυθμό ροής τροφοδοσίας, το μέγεθος των εισερχόμενων σωματιδίων, το ιξώδες, τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ξηραντήρα, την πίεση και τον τύπο του ψεκαστήρα (Tonon et al., 2008). Η ξήρανση με ψεκασμό επιλέγεται συχνά καθώς, μεταξύ των άλλων, μπορεί να επεξεργαστεί υλικό πολύ γρήγορα ενώ παρέχει σχετικό έλεγχο της κατανομής μεγέθους των σωματιδίων (Obón et al., 2009).

### 2.5.1.1 Περιγραφή της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό

Η ξήρανση με ψεκασμό αποτελείται από τέσσερα κύρια στάδια, τα οποία περιλαμβάνουν την ατομοποίηση του υγρού τροφοδοσίας, την επαφή του μέσου ξήρανσης με τα παραγόμενα σταγονίδια, την ξήρανση των σταγονιδίων και τον διαχωρισμό του τελικού προϊόντος (σκόνης) από τον αέρα. Αυτές οι τέσσερις φάσεις και οι λειτουργικές τους παράμετροι σε συνδυασμό με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του γαλακτώματος καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της ξήρανσης και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Cal and Sollohub, 2010, Filkova et al., 2015). Το ρευστό τροφοδοσίας μπορεί να είναι υπό τη μορφή διαλύματος, πάστας ή αιωρήματος. Το τελικό προϊόν μπορεί να έχει τη μορφή κόκκων, σκόνης και συσσωματώματος, το οποίο εξαρτάται κυρίως από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρευστού τροφοδοσίας αλλά και τις λειτουργικές παραμέτρους της τεχνικής (Filkova et al., 2015, Masters, 1991, Murugesan et al., 2011). Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των τεσσάρων σταδίων της ξήρανσης με ψεκασμό.

#### Ατομοποίηση

Η διαδικασία ατομοποίησης γενικά αναφέρεται στην μετατροπή ενός υγρού αιωρήματος σε αέριο μίγμα με αποτέλεσμα τη δημιουργία σωματιδίων μειωμένου μεγέθους (Cal and Sollohub, 2010). Μια αποτελεσματική διαδικασία ψεκασμού μετατρέπει το υγρό τροφοδοσίας σε μικροσκοπικά σταγονίδια ίδιου μεγέθους, γεγονός που οδηγεί στην ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας και μάζας κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Λόγω της

επακόλουθης μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων και της διασποράς τους στο αέριο ξήρανσης, η επιφάνεια αυτών αυξάνεται πολύ. Σε αυτή την αύξηση οφείλεται η ταχύτητα, σε λίγα δευτερόλεπτα, ξήρανση της τροφοδοσίας. Ο συνδυασμός του μικρού μεγέθους των σταγονιδίων και της ομοιόμορφης κατανομής του ρευστού τροφοδοσίας, έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση της υγρασίας χωρίς να επηρεάζεται η ακεραιότητα του υλικού (Murugesan et al., 2012). Η ατομοποίηση επιτυγχάνεται με χρήση εκνεφωτών οι οποίοι κατηγοριοποιούνται σε περιστροφικούς εκνεφωτές (rotary atomizers), ακροφύσια πίεσης (pressure nozzles) και πνευματικές βαλβίδες (pneumatic nozzles) (Cal and Sollohub, 2010). Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με βάση τη μορφή ενέργειας που εφαρμόζεται στο υγρό τροφοδοσίας. Για παράδειγμα, οι περιστροφικοί ψεκαστήρες χρησιμοποιούν τη φυγόκεντρο για την εκνέφωση του ρευστού, ενώ τα ακροφύσια πίεσης χρησιμοποιούν συσσώρευση πίεσης (Filkova et al., 2015, Masters 1985). Η επιλογή του εκνεφωτή γίνεται με βάση την φύση της προς ξήρανση τροφοδοσίας καθώς και τις επιθυμητές τελικές ιδιότητες του ξηρού προϊόντος (Murugesan et al., 2011).

### **Επαφή σταγονιδίων – μέσου ξήρανσης**

Κατά τη διάρκεια της ατομοποίησης, η τροφοδοσία εκτίθεται στο αέριο μέσο ξήρανσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το αέριο ξήρανσης είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας. Κατά τη διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό, ο ατμοσφαιρικός αέρας διηθείται μέσω ενός συστήματος φιλτραρίσματος και έτσι προθερμαίνεται σύμφωνα με τις παραμέτρους λειτουργίας που έχουν οριστεί. Μερικές φορές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και άζωτο ή άλλα αδρανή αέρια, τα οποία επιλέγονται με βάση την προς ξήρανση ουσία και την αστάθεια της, ή την ευαισθησία της στο οξυγόνο (Cal and Sollohub, 2010). Η θερμοκρασία του αέρα εισόδου παίζει σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση της υγρασίας από τη διασπορά. Η απόδοση και η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται από την υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα εισόδου, ενώ η θερμοκρασία του αέρα είναι η ελεγχόμενη μεταβλητή κατά τη διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό (Baker, 1997).

Η εκνέφωση του υγρού τροφοδοσίας και η διάρκεια επαφής των σταγονιδίων με το μέσο ξήρανσης είναι αρκετά σημαντικές παράμετροι της ξήρανσης με ψεκασμό καθώς καθορίζουν τον ρυθμό και την ένταση της ξήρανσης. Η διάρκεια διαμονής κάθε σταγονιδίου εντός του θαλάμου ξήρανσης καθορίζεται από το ρυθμό ροής του εκνεφωτή και το μέγεθος του θαλάμου ξήρανσης. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να σχεδιαστεί ο θάλαμος ξήρανσης και ο εκνεφωτής με τρόπο τέτοιο ώστε να διευκολυνθεί η ροή του εκνεφώματος και να αποτραπεί η εναπόθεση μερικώς ξηρού προϊόντος στο τοίχωμα του θαλάμου και τον ψεκαστήρα. Η απώλεια αυτή τελικού προϊόντος είναι αποτέλεσμα κυρίως της υπερβολικά γρήγορης διαδρομής των σταγονιδίων, η οποία οδηγεί σε μείωση του χρόνου επαφής των σταγονιδίων με τον μέσο ξήρανσης, γεγονός που οδηγεί σε ανεπαρκή απομάκρυνση της υγρασίας αυτών. Η επαφή του εκνεφώματος με τον αέρα, δηλαδή η θέση του εκνεφωτή ως προς την είσοδο του μέσου ξήρανσης, μπορεί να είναι σε ομορροή (cocurrent), αντιρροή (countercurrent) ή μικτή ροή (mixed flow) (Cal και Sollohub 2010, Masters 1985). Στην περίπτωση της λειτουργίας με ομορροή, τόσο ο εκνεφωτής όσο και η είσοδος του ρεύματος του μέσου ξήρανσης τοποθετούνται στο άνω τμήμα του θαλάμου ξήρανσης, δηλαδή το εκνέφωμα έχει την ίδια διεύθυνση με τη ροή του μέσου ξήρανσης και η εξάτμιση συμβαίνει ταχύτατα (Fleming, 1921). Το τελικό προϊόν εκτίθεται σε μέτριες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να μην αλλοιώνεται. Αντίθετα, στην λειτουργία με αντιρροή το αέριο ξήρανσης παρέχεται από τον πυθμένα του θαλάμου ξήρανσης και η εκνέφωση λαμβάνει χώρα στην

κορυφή του θαλάμου ξήρανσης, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που περιορίζει τις εφαρμογές αυτής της λειτουργίας σε θερμοευαίσθητα συστατικά (Murugesan et al., 2011). Η λειτουργία με αντιρροή αποτελεί την λιγότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδο καθώς αντιπροσωπεύει μόνο το 5% όλων των ξηραντήρων ψεκασμού που χρησιμοποιούνται (Rahse and Dicoi 2001). Τέλος στους ξηραντήρες μικτής ροής, η τροφοδοσία ψεκάζεται προς τα άνω, προς την κορυφή του θαλάμου, χωρίς όμως ο εκνεφωτής να τοποθετείται στο κάτω μέρος του θαλάμου όπως στην περίπτωση της αντιρροής αλλά συνήθως σε μια μέση απόσταση, ενώ η είσοδος του μέσου ξήρανσης τοποθετείται στο άνω μέρος του θαλάμου. Έτσι, το εκνέφωμα έχει αντίθετη διεύθυνση από τη ροή του μέσου ξήρανσης. Αυτή είναι η πιο οικονομική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ξήρανση θερμοσταθερών συστατικών (Cal και Sollohub 2010).

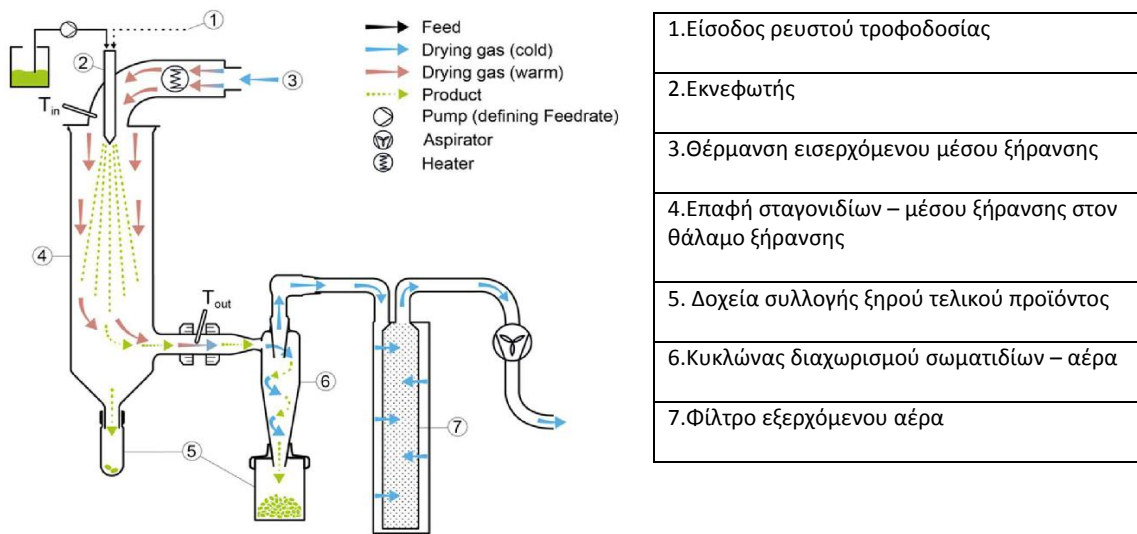
### **Ξήρανση των σταγονιδίων**

Η ξήρανση των σταγονιδίων τροφοδοσίας, σε μια διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό, είναι αποτέλεσμα της ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Η θερμότητα από το μέσο ξήρανσης μεταφέρεται στα σταγονίδια με συναγωγή και στη συνέχεια μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα κατά την εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας των σταγονιδίων. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας και μάζας εξαρτάται από τη διάμετρο των σταγονιδίων και τη σχετική ταχύτητα του αέρα και των σταγονιδίων. Το αρχικό στάδιο ξήρανσης ξεκινά μόλις έρθει σε επαφή το σταγονίδιο με το μέσο ξήρανσης. Ακολουθεί το στάδιο κατά το οποίο αρχίζει να μειώνεται ο ρυθμός ξήρανσης, και η ξήρανση ολοκληρώνεται μόλις τα σταγονίδια φθάσουν στην τελική (επιθυμητή) υγρασία τους (Filkova et al., 2015, Masters, 1991).

### **Διαχωρισμός τελικού προϊόντος από το μέσο ξήρανσης**

Μετά τη διαδικασία ξήρανσης, τα ξηρά σωματίδια πέφτουν προς το κάτω μέρος του θαλάμου ξήρανσης ή παρασύρονται από τον εξερχόμενο αέρα. Τα σωματίδια που παρασύρονται αποτελούν το επιθυμητό τελικό προϊόν της ξήρανσης και η συλλογή τους πραγματοποιείται με εφαρμογή ενός συστήματος διαχωρισμού που έπεται του θαλάμου ξήρανσης, δηλαδή στους κυκλώνες (Masters, 1991, Murugesan et al., 2011). Η συλλογή του τελικού προϊόντος με το πέρας της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό αποτελεί συχνά πρόκληση λόγω την άμορφης φύσης των συστατικών των τροφίμων που οδηγεί στην παραγωγή ελαστικού και κολλώδους τελικού προϊόντος (Woo et al., 2009). Η κολλητικότητα των σωματιδίων κατά την ξήρανση με ψεκασμό, πέραν του ότι δυσχεραίνει την συλλογή του τελικού προϊόντος, είναι υπεύθυνη και για τον σχηματισμό συσσωματωμάτων εντός του θαλάμου που έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της ποσότητας του τελικού προϊόντος που ανακτάται (Gianfrancesco et al., 2010).

Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση ενός ξηραντήρα με ψεκασμό (Εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση ενός ξηραντήρα με ψεκασμό

### 3. Εγκλεισμός συστατικών τροφίμων

Η διεργασία του εγκλεισμού αποτελεί μια πολύτιμη και ευρέως εφαρμόσιμη διεργασία σε αρκετούς τομείς της βιομηχανίας. Αρχικά εισήχθη στον τομέα της βιοτεχνολογίας για να καταστήσει τις παραγωγικές διαδικασίες πιο αποτελεσματικές, καθώς ο φορέας εγκλεισμού γύρω από τα κύτταρα επέτρεψε τον γρήγορο και αποτελεσματικό διαχωρισμό των παραγωγικών κυττάρων και των μεταβολιτών. Τέτοιες τεχνολογίες, οι οποίες αναπτύχθηκαν περίπου πριν από 60 χρόνια, συνεχίζουν να προσελκύουν το ενδιαφέρον τόσο του φαρμακευτικού τομέα, όσο και της βιομηχανίας τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την δημιουργία νέων, υψηλότερων απαιτήσεων, η βιομηχανία τροφίμων επιδιώκει την προσθήκη λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα με σκοπό τον έλεγχο κάποιων ιδιοτήτων τους όπως η γεύση, το χρώμα, η υφή ή ακόμη και η συντήρηση. Αυτές οι ενώσεις συνήθως είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε περιβαλλοντικές συνθήκες, συνθήκες επεξεργασίας ή ακόμα και πεπτικές συνθήκες και ως εκ τούτου, ο εγκλεισμός αποτελεί μια προτιμητέα διεργασία για την αποτελεσματική προστασία αυτών. Στα συστατικά αυτά περιλαμβάνονται και τα βιοδραστικά, ενώσεις με πολλά πιθανά οφέλη για την υγεία. Ο εγκλεισμός αυτών, αποσκοπεί στη διατήρηση της σταθερότητας τους κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης, επιβραδύνοντας τις διεργασίες αποικοδόμησης (π.χ. οξείδωση ή υδρόλυση), και στην αποφυγή ανεπιθύμητων αλληλεπιδράσεων με το τρόφιμο (McClements and Lesmes, 2009).

#### 3.1 Βιοδραστικά συστατικά

Τα βιοδραστικά συστατικά, μεταξύ των οποίων αιθέρια έλαια, αρωματικά συστατικά, βιταμίνες, προβιοτικά, μέταλλα, λιπαρά οξέα, αντιοξειδωτικά, φυτοστερόλες κ.α., αποτελούνται από χημικές ενώσεις οι οποίες εντοπίζονται σε μικρές ποσότητες σε φυτά και

κάποια τρόφιμα (φρούτα, λαχανικά, καρύδια, έλαια και δημητριακά ολικής αλέσεως), αλλά και σε κάποιους ζωντανούς οργανισμούς και μικροοργανισμούς όπως βακτήρια, μύκητες και άλλα, ενώ αποτελούν διαχρονικά αντικείμενο μελέτης και ενδιαφέροντος στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη στην πνευματική και σωματική υγεία του καταναλωτή. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών στα τρόφιμα είναι μια αρκετά απαιτητική διαδικασία δεδομένης της υψηλής ευαισθησίας των συστατικών αυτών στο οξυγόνο, το φώς, τη θερμότητα και το νερό. Οι παράγοντες αυτοί περιορίζουν τον χρόνο ζωής και την διαθεσιμότητα των συστατικών αυτών στο τρόφιμο, καθώς σε περίπτωση που αλλοιωθούν σχηματίζουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως δυσάρεστη γεύση, υποβάθμιση του χρώματος, καρκινογόνα συστατικά κ.α.. Επιπλέον, μετά την κατανάλωσή τους, κατά τον μεταβολισμό, κάποια συστατικά τροποποιούν την χημική του δομή με αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων τους. Για τους λόγους αυτούς, κρίνεται απαραίτητη η εύρεση μεθόδων οι οποίες θα εξασφαλίζουν την προστασία και τη διατήρηση της ακεραιότητας των συστατικών αυτών σε ικανοποιητικό βάθος χρόνου, ενώ παράλληλα θα εξασφαλίζεται ελάχιστη επίδραση στις οργανοληπτικές και ποιοτικές ιδιότητες των αναπτυγμένων προϊόντων. Η διεργασία του εγκλεισμού είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την υπέρβαση πολλών από τα προαναφερθέντα ζητήματα, καθώς επιτρέπει την προστασία μεγάλης ποικιλίας ενώσεων με την ενσωμάτωσή τους σε ένα φορέα εγκλεισμού και έχει βρει ήδη αρκετές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων (Dordevic et al., 2014, Guaadaoui et al., 2014).

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται παραδείγματα βιταμινών, μετάλλων, χρωστικών και λιπαρών οξέων που έχουν εγκλειστεί με εφαρμογή της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό.



**Πίνακας 3.1:** Εφαρμογές εγκλεισμού βιοδραστικών συστατικών με ξήρανση με ψεκασμό

Ενεργό συστατικό	Φορέας εγκλεισμού	Αναφορά	
Βιταμίνες	Βιταμίνη C	Χιτοζάνη Μαλτοδεξτρίνη	Desai and Park, 2005a Rodríguez-Hernández et al., 2005
	Ασκορβικό οξύ	Άμυλο, β-κυκλοδεξτρίνη Αραβικό κόμμα, Άμυλο ρυζιού, Ζελατίνη Μαλτοδεξτρίνη, Κόμμα κάσιου	Uddin et al., 2001 Rodríguez-Hernández et al., 2005 Oliveira et al., 2009
	Αραχιδονικό (Arachidonic) και Ασκορβικό οξύ	Αραβικό κόμμα, Μαλτοδεξτρίνη, Πολυσακχαρίτης σόγιας	Watanabe et al., 2004
Μέταλλα	Ασβέστιο	Παράγωγα κυτταρίνης, Ουδέτερο Πολυμεθακρυλικό άλας	Oneda and Ré, 2003
Χρωστικοί παράγοντες	Λυκοπένιο	Ζελατίνη, Σουκρόζη	Shu et al., 2006
	Λυκοπένιο και β-καροτινίνη	Μαλτοδεξτρίνη	Quek et al., 2007
	β-καροτινίνη	Μαλτοδεξτρίνη	Desobry et al., 1997
	Ανθοκυάνες	Μαλτοδεξτρίνη	Ersus and Yurdagel, 2007
	Βιξίνη (bixin)	Αραβικό κόμμα, Μαλτοδεξτρίνη	Barbosa et al., 2005
	Χυμός φραγκοστάφυλλο (Myrica rubra Sieb. et Zucc.)	Μαλτοδεξτρίνη	Gong et al., 2008
Ερυθρο-ιώδης χρωστική (Opuntia Stricta)	Γλυκόζη	Obón et al., 2009	
Βηταλαΐνες (Betalain)	Αραβικό κόμμα	Pitalua et al., 2010	
Λιπαρά οξέα	Έλαιο αβοκάντο	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος, Μαλτοδεξτρίνη	Bae and Lee, 2008
	Ωμέγα-3	Αλγινικό άλας, Τροποποιημένο άμυλο (Carpul)	Tan et al., 2009
	Λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας Λινελαϊκό οξύ	Αραβικό κόμμα, Μαλτοδεξτρίνη Αραβικό κόμμα, Μαλτοδεξτρίνη	Teixeira et al., 2004 Minemoto et al., 2002

### 3.1.1 Βιοδραστικά συστατικά με αντιοξειδωτική δράση

Τα τελευταία χρόνια, ενώσεις οι οποίες ανήκουν στην οικογένεια των φαινολικών συστατικών, όπως τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα, τα φαινολικά διτερπένια και τριτερπένια, που υπάρχουν σε μια μεγάλη ποικιλία φυτών, αποτελούν αντικείμενο εντατικής έρευνας καθώς παρουσιάζουν πολυάριθμα οφέλη για την ανθρώπινη υγεία. Έχει αποδειχθεί ότι η αντιοξειδωτική δράση και η ικανότητα δέσμευσης ελεύθερων ριζών είναι οι κύριες ιδιότητες αυτών των ενώσεων. Συνεπώς, αποτελούν πολύτιμα εργαλεία για την πρόληψη καρδιαγγειακών ή φλεγμονωδών ασθενειών αλλά και του καρκίνου, οι οποίες προκαλούνται, μεταξύ άλλων, από επιβλαβείς επιδράσεις των ελεύθερων ριζών. Εκτός από την πρωταρχική αντιοξειδωτική δράση τους, οι ενώσεις παρουσιάζουν επίσης αντιβακτηριακές, κυτταροτοξικές, αντι-ιικές και μυκητοστατικές δραστηριότητες (Razborsek et al., 2007). Ωστόσο, λόγω της υψηλής ευαισθησίας τους σε περιβαλλοντικές και πεπτικές συνθήκες, υπάρχει το ενδεχόμενο με την προσθήκη τους σε κάποιο σύστημα να υποβαθμιστούν, να καταστούν επικίνδυνες λόγω αντιδράσεων οξειδωσης και να αλλάξουν τις αρχικές φυσικές τους ιδιότητες. Για τον λόγο αυτό, η προστασία τους με εφαρμογή διεργασιών εγκλεισμού, όπως η ξήρανση με ψεκασμό, έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων ερευνητικών μελετών, ώστε τελικά να βρει εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων αλλά και καλλυντικών προς δημιουργία λειτουργικών, πρωτοπόρων προϊόντων.

### 3.2 Αρωματικά συστατικά

Τα αρωματικά συστατικά (flavors) προσδιορίζονται μεταξύ των πιο πολύτιμων συστατικών σε οποιαδήποτε συνταγή τροφίμου. Η γεύση και το άρωμα ενός προϊόντος παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ικανοποίηση του καταναλωτή και επηρεάζουν την περαιτέρω κατανάλωσή τους. Οι περισσότερες διαθέσιμες αρωματικές ενώσεις προέρχονται είτε από χημική σύνθεση είτε από εκχύλιση (Madene et al., 2006).

Ακόμη και μια πολύ μικρή ποσότητα κάποιου αρωματικού συστατικού μπορεί να είναι αρκετά ακριβή, και καθώς αποτελούν ευαίσθητα και με αυξημένη πτητικότητα συστατικά, η διατήρησή τους έχει προβληματίσει αρκετά τη βιομηχανία τροφίμων. Ακόμη, δεδομένου ότι τα αρωματικά συμπυκνώματα είναι ελαιώδη και λιπόφιλα υλικά, δεν είναι εύκολος ο χειρισμός τους. Ο μικροεγκλεισμός είναι μια διεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί προκειμένου να επιτευχθεί η διατήρηση των αρωματικών συστατικών κατά την αποθήκευση, η αποφυγή ανεπιθύμητων αλληλεπιδράσεων με άλλα συστατικά του τροφίμου, η ελαχιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών αρωματικών συστατικών, η προστασία αυτών από αντιδράσεις που προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως οξείδωση, η ελεγχόμενη απελευθέρωση αυτού, καθώς και η μετατροπή του σε μορφή σκόνης που καθιστά τον χειρισμό του αισθητά ευκολότερο. Η συγκράτηση των αρωματικών συστατικών κατά των εγκλεισμού, εξαρτάται από αρκετές παραμέτρους όπως το μοριακό βάρος, τη πολικότητα και τη σχετική πτητικότητα αυτού, καθώς και από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του φορέα εγκλεισμού αλλά και τις

παραμέτρους και την φύση της εφαρμοζόμενης διεργασίας εγκλεισμού (Gharsallaoui et al., 2007, Estevinho and Rocha, 2017).

### 3.3 Εκτίμηση απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού

Προκειμένου να προσδιοριστεί το εγκλεισμένο, όπως και το επιφανειακό ενεργό συστατικό στο τελικό προϊόν έχουν χρησιμοποιηθεί πολυάριθμες εκφράσεις, οι πιο συνήθεις εκ των οποίων είναι η Απόδοση μικροεγκλεισμού ή Συγκράτηση και η Αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού. Ανάλογα με τη φύση και τις ιδιότητες του ενεργού συστατικού έχουν εφαρμοστεί αρκετές μέθοδοι με σκοπό την ποσοτικοποίησή του στο προϊόν εγκλεισμού με τις πιο δημοφιλείς να αποτελούν η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) και η αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (GC-MS).

#### **Απόδοση μικροεγκλεισμού (Microencapsulation yield) ή Συγκράτηση (Retention)**

Η απόδοση μικροεγκλεισμού ή συγκράτηση ορίζεται ως ο λόγος της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού στο τελικό προϊόν-κάψουλα, εσωτερικά και επιφανειακά, ως προς εκείνη που προστέθηκε στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας (Jimenez et al., 2004).

Συγκράτηση ή Απόδοση μικροεγκλεισμού = 
$$\frac{\text{Ενεργό συστατικό στο τελικό προϊόν (g / 100 g στερεών)}}{\text{Ενεργό συστατικό στο αρχικό γαλάκτωμα (g / 100 g στερεών)}}$$

#### **Αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (Microencapsulating efficiency)**

Η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού ορίζεται ως ο λόγος της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού στο εσωτερικό του τελικού προϊόντος - κάψουλας ως προς την ολική συγκέντρωση του ενεργού συστατικού στο τελικό προϊόν (εσωτερικό και επιφάνεια της κάψουλας) (Jimenez et al., 2004, Bringas-Lantigua et al., 2012).

Αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού = 
$$\frac{\text{Εγκλεισμένο ενεργό συστατικό στην κάψουλα}}{\text{Ολικό ενεργό συστατικό στην κάψουλα}} \times 100$$

#### **Επιφανειακή περιεκτικότητα (Surface Content)**

Δεδομένου ότι καθοριστικό μέγεθος για την αποτελεσματικότητα εγκλεισμού αποτελεί η ποσότητα του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος-κάψουλας, σε αρκετές μελέτες αντί αυτής παρουσιάζεται το ποσοστό επιφανειακής περιεκτικότητας το οποίο ορίζεται από τη σχέση (Jimenez et al., 2004, Jafari et al., 2007, Soottitawantawat et al., 2005):

Επιφανειακή περιεκτικότητα = 
$$\frac{\text{Ενεργό συστατικό στην επιφάνεια της κάψουλας (g / 100 g στερεών)}}{\text{Ενεργό συστατικό στο αρχικό γαλάκτωμα (g / 100 g στερεών)}}$$

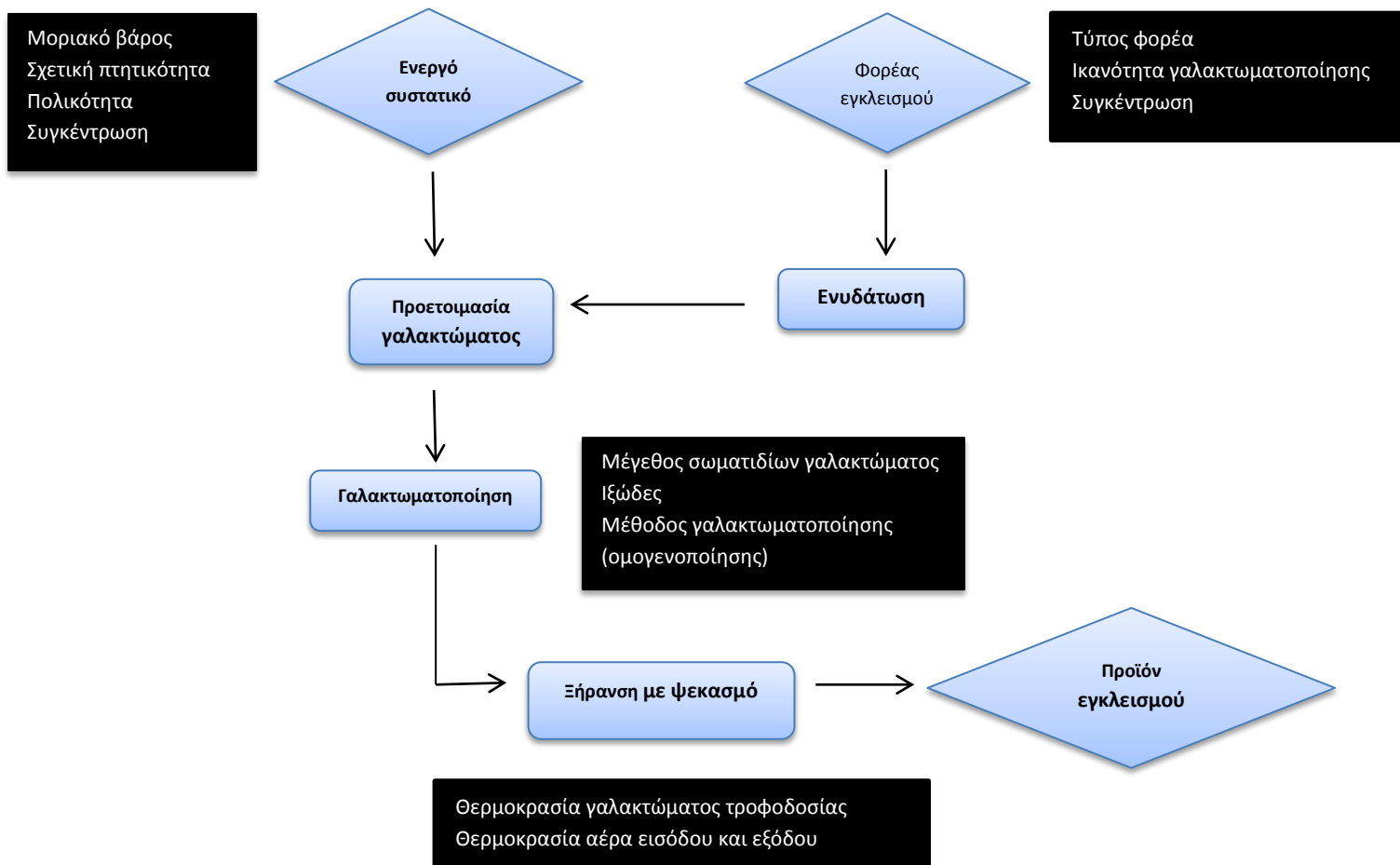
#### 3.3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση μικροεγκλεισμού

Ως επιτυχής μπορεί να χαρακτηριστεί μια διεργασία εγκλεισμού αρωματικών, βιοδραστικών ή οποιουδήποτε συστατικού επιλεγθεί, η οποία έχει ως αποτέλεσμα παραγωγή προϊόντος, τα σωματίδια του οποίου έχουν ελάχιστη περιεκτικότητα ενεργού συστατικού στην επιφάνειά της κάψουλας, μέγιστη στο εσωτερικό της και την χαμηλότερη δυνατή περιεχόμενη υγρασία. Το κύριο συστατικό στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας είναι το νερό, το οποίο εξατμίζεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, ωστόσο συστατικά με υψηλότερη σχετική πτητικότητα μπορούν να διατηρηθούν σχεδόν πλήρως όταν εφαρμόζονται βέλτιστες συνθήκες ξήρανσης.

Προκειμένου να επιτευχθεί η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών της διεργασίας εγκλεισμού πρέπει να εξεταστούν τουλάχιστον τέσσερις παράγοντες. Αυτοί είναι οι εξής (Jafari et al., 2008):

1. Το είδος και οι φυσικοχημικές ιδιότητες του φορέα εγκλεισμού,
2. Τα χαρακτηριστικά του ενεργού συστατικού,
3. Οι μέθοδοι παραγωγής/ χαρακτηριστικά γαλακτώματος τροφοδοσίας,
4. Οι λειτουργικές παράμετροι της ξήρανσης με ψεκασμό.

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται διάγραμμα ροής του μικροεγκλεισμού με την διεργασία της ξήρανσης με ψεκασμό συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα εγκλεισμού σε κάθε στάδιο (Jafari et al., 2008).



**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα ροής εγκλεισμού συστατικών τροφίμων με εφαρμογή της ξήρανσης με ψεκασμό, συμπεριλαμβανομένων των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοση εγκλεισμού.

Καθένας από τους παράγοντες αναλύεται περαιτέρω στη συνέχεια, ενώ παρουσιάζονται και μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, προκειμένου να παρουσιαστεί πώς ο κάθε παράγοντας επηρέασε την απόδοση της διεργασίας εγκλεισμού με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό.

### 3.3.1.1 Είδος και ιδιότητες φορέα εγκλεισμού

Η επιλογή του κατάλληλου φορέα εγκλεισμού είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη μιας επιτυχούς διεργασίας εγκλεισμού, καθώς κάθε φορέας προσδίδει διαφορετικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν, όπως απόδοση εγκλεισμού και σταθερότητα (Murugesan et al., 2012). Οι κυριότεροι φορείς εγκλεισμού που χρησιμοποιούνται από την βιομηχανία τροφίμων ανήκουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τους πολυσακχαρίτες, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια. Προκειμένου το γαλάκτωμα τροφοδοσίας να παρουσιάζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, οι περισσότεροι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει συνδυασμούς φορέων εγκλεισμού και κυρίως συνδυασμούς μαλτοδεξτρίνης ή τροποποιημένου αμύλου με κάποιο κόμμα, όπως αραβικό ή κόμμα ξανθάνης. Η αναλογία των συστατικών, σε περίπτωση που εφαρμόζεται συνδυασμός φορέων εγκλεισμού, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη υψηλής απόδοσης εγκλεισμού και η επιλογή αυτής εξαρτάται από την φύση του κάθε φορέα και κατ'επέκταση τις ιδιότητες που θα αποδώσει στο γαλάκτωμα. Καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή της αναλογίας των φορέων εγκλεισμού είναι η φύση του ενεργού συστατικού. Έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες μελέτες προκειμένου να εξεταστεί η καταλληλότητα διαφορετικών φορέων για τον εγκλεισμό του εκάστοτε ενεργού συστατικού.

Οι Charve and Reineccius (2009) μελέτησαν τον εγκλεισμό αρωματικών συστατικών, τα οποία ήταν το (R)-(+)- λιμονένιο και τρεις α,β-ακορεστες αλδεύδες ((E)-2-εξανάλη, (E)-κιναμαλδεύδη και κιτράλη), χρησιμοποιώντας και συγκρίνοντας ως φορείς εγκλεισμού κόμμα ακακίας (GA), τροποποιημένο άμυλο (MS) και τρεις πρωτεΐνες (καζεϊνικό νάτριο (SC), υπερσυμπυκνώματα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (WPI) και σόγιας (SPI)). Στην συγκεκριμένη έρευνα μελετήθηκε η απόδοση εγκλεισμού για σταθερή συγκέντρωση στερεών (φορέας εγκλεισμού και ενεργό συστατικό ίσα με το 10% του γαλακτώματος τροφοδοσίας) αλλά και για σταθερή τιμή του φαινόμενου ιξώδους (0.25 Pa s). Η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου διατηρήθηκε σταθερή στους 200 και 100 °C αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 3.2 δίνονται τα ποσοστά συγκράτησης κάθε συστατικού για τους πέντε διαφορετικούς φορείς.

**Πίνακας 3.2:** Ποσοστά συγκράτησης κάθε αρωματικού συστατικού κατά την ξήρανση με ψεκασμό χρησιμοποιώντας διαφορετικούς φορείς εγκλεισμού σε διαφορετικές περιεκτικότητες (g φορέα / 100 g στερεών γαλακτώματος) (Charve and Reineccius, 2009)

Συστατικά	GA 10%	GA 35%	MS 10%	MS 40%	WPI 10%	WPI 35%	SPI 10%	SPI 22%	SC 10%
((E)-2-εξανάλη	3.3	59.2	3.0	63.7	16.9	30.7	19.1	16.9	25.3
(R)-(+)- λιμονένιο	45.9	89.4	51.5	76.1	36.2	78.2	66.2	73.3	57.5
κιτράλη	44.8	71.3	60.6	97.7	39.3	74.8	35.1	41.7	56.1
(E)-κιναμαλδεύδη	24.6	55.7	48.9	85.1	46.7	62.0	35.0	35.6	43.7

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα για σταθερή συγκέντρωση φορέα (10 %), είναι φανερό ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις καταλληλότεροι φορείς για εγκλεισμό πτητικών συστατικών είναι οι πρωτεϊνικοί, δηλαδή το SPI, WPI και SC, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στερεών φαίνεται να είναι καλύτερη επιλογή το GA και το MS.

Ο μικροεγκλεισμός της Ι-μενθόλης μελετήθηκε από τους Soottitantawat et al. (2005a) εφαρμόζοντας ξήρανση με ψεκασμό και χρησιμοποιώντας αραβικό κόμμα (GA) και τροποποιημένο άμυλο (CAPSUL, HI-CAP 100) ως φορείς εγκλεισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλότερη συγκράτηση της Ι-μενθόλης αυξανόμενης της αρχικής συγκέντρωσης στερεών. Το HI-CAP 100, έδειξε υψηλότερη συγκράτηση σε σχέση με τους άλλους φορείς. Ωστόσο, έδειξε επίσης υψηλά ποσοστά Ι-μενθόλης στην επιφάνεια της σκόνης ειδικά όταν εφαρμόστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις Ι-μενθόλης στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του φορέα και της Ι-μενθόλης. Για τον λόγο αυτό, παρόλο που είχε χαμηλότερη απόδοση εγκλεισμού, προτείνεται η χρήση του αραβικού κόμματος για τον εγκλεισμό της Ι-μενθόλης.

Οι Fernandes et al. (2014) μελέτησαν τη χρήση των φορέων αραβικό κόμμα (GA) και τροποποιημένο άμυλο (MS), αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με μαλτοδεξτρίνη (MD) ή ινουλίνη (IN), για τον εγκλεισμό του αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου, σε σταθερή αναλογία αιθέριου ελαίου:φορέα εγκλεισμού ίση με 1:4. Η θερμοκρασία εισόδου, στον ξηραντήρα με ψεκασμό, ήταν σταθερή στους 170°C. Ακολουθεί πίνακας με την σύσταση του γαλακτώματος και την απόδοση εγκλεισμού που επιτεύχθηκε σε κάθε περίπτωση.

**Πίνακας 3.3:** Σύσταση του γαλακτώματος τροφοδοσίας για τα διαφορετικά συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν και απόδοση εγκλεισμού (Fernandes et al., 2014)

#	GA g/100g γαλακτώματος	MS g/100g γαλακτώματος	MD g/100g γαλακτώματος	IN g/100g γαλακτώματος	Αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου g/100g γαλακτώματος	Απόδοση Εγκλεισμού(%)
1	20	-	-	-	5	56.83
2	-	20	-	-	5	56.79
3	-	10	10	-	5	60.22
4	-	10	-	10	5	45.45
5	10	-	10	-	5	45.45
6	10	-	-	10	5	29.53

Με τα αποτελέσματα τους, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3, οι ερευνητές επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα του αραβικού κόμματος και του τροποποιημένου αμύλου ως φορέων εγκλεισμού πτητικών ουσιών, ωστόσο, γίνεται φανερό ότι τα μίγματα φορέων εγκλεισμού (MS:MD, MS:IN, GA:MD) μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα ακόμα καλύτερες ή κοντινές αποδόσεις εγκλεισμού, και σε κάποιες περιπτώσεις η χαμηλότερη απόδοση αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, όπως σε αυτήν του αραβικού κόμματος, μιας ακριβής πρώτης ύλης.

Ο εγκλεισμός εκχυλισμάτων καφέ με φορείς εγκλεισμού κόμμα χαρουπιού και αραβικό κόμμα μελετήθηκε από τους Rodrigues and Grosso (2008). Στο πείραμα μελετήθηκε η απόδοση εγκλεισμού, η μορφολογία και η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων του τελικού προϊόντος. Δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ του αραβικού κόμματος και του

κόμμεος χαρουπιού, υποδηλώνοντας ότι το κόμμι χαρουπιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση για το αραβικό κόμμι σε εφαρμογές εγκλεισμού.

Οι Beristain et al. (1999) μελέτησαν τον εγκλεισμό αιθέριου ελαίου φλοιού πορτοκαλιού με μίγματα μαλτοδεξτρίνης και κόμμεος mesquite που χρησιμοποιήθηκαν σε αναλογίες 1: 4, 2: 3, 3: 2 και 4: 1 (w/w) σε διάλυμα συνολικών στερεών σε περιεκτικότητα 30%. Το υψηλότερο ποσοστό απόδοσης εγκλεισμού του ενεργού συστατικού (84%) βρέθηκε σε αναλογία 3: 2 μαλτοδεξτρίνης προς κόμμι mesquite.

Στη μελέτη των Pellicer et al. (2018) χρησιμοποιήθηκαν ως φορείς εγκλεισμού για τον εγκλεισμό συνθετικού αρώματος φράουλας οι συνδυασμοί: μαλτοδεξτρίνη ( MD) / τροποποιημένο άμυλο (Hi-Cap), μαλτοδεξτρίνη (MD) / Αραβικό κόμμι (AG) και μαλτοδεξτρίνη (MD) / κόμμι ξανθάνης (X), με προσθήκη σε κάθε μίγμα σταθερής συγκέντρωσης β-κυκλοδεξτρίνης (β-CDs) ίσης με 1.7% (g β-CDs/ g εγκλειστικού), και μελετήθηκαν για τα δύο πρώτα μίγματα οι αναλογίες 10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8/2, 7.5/2.5, 5/5, 2.5/7.5 και 0/10, ενώ για το τελευταίο οι αναλογίες διέφεραν λόγω σημαντικής αύξησης του ιξώδους και ήταν οι 10/0, 9.99/0.01, 9.98/0.02, 9.975/0.025, 9.95/0.05, 9.925/0.075, 9.9/0.1 και 9.85/0.15. Οι υψηλότερες αποδόσεις που επιτεύχθηκαν ήταν για τις αναλογίες MD / Hi-Cap ίση με 9/1, MD / GA ίση με 10/0 και MD / X ίση επίσης με 10/0. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση της μαλτοδεξτρίνης με το τροποποιημένο άμυλο (Hi-Cap) σε αναλογία 9/1, σε συνδυασμό με την β-κυκλοδεξτρίνη, παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά ως φορέα εγκλεισμού πτητικών συστατικών.

Όσον αφορά τον εγκλεισμό, με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό, εκχυλισμάτων ή χυμών πλούσιων σε αντιοξειδωτικά συστατικά στις περισσότερες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί χρησιμοποιούνται ως φορείς εγκλεισμού μαλτοδεξτρίνες (Bunghez et al., 2015, Raini et al., 2015, Santiago-Adame et al., 2015, Tengse et al., 2016, Nunes et al., 2015). Η επιλογή αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα φαινολικά συστατικά δεν εμφανίζουν υψηλή πτητικότητα, περίπτωση κατά την οποία όπως έχει αναφερθεί η μαλτοδεξτρίνη δεν αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή φορέα, και συνεπώς τα χαρακτηριστικά της μεταξύ των οποίων η υψηλή της διαλυτότητα, και επομένως η δημιουργία διαλυμάτων χαμηλού ιξώδους, η προστασία του προϊόντος από φαινόμενα οξειδωσης και η γευστική ουδετερότητα την καθιστούν ιδανικό φορέα εγκλεισμού. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται επιλογή μαλτοδεξτρινών με DE από 10 έως 20 το οποίο θα μπορούσε να εξηγηθεί από το ότι αυξανόμενου του ισοδύναμου δεξτρόζης προκύπτουν μόρια με μικρότερες αλυσίδες και πιο υδρόφιλες ομάδες, με αποτέλεσμα να είναι καταλληλότερες για τον εγκλεισμό υδρόφιλων φαινολικών συστατικών όπως είναι για παράδειγμα τα φαινολικά οξέα και οι ανθοκυανίνες.

Σε αρκετές μελέτες έχει εξεταστεί η απόδοση της διεργασίας εγκλεισμού με εφαρμογή μαλτοδεξτρινών με διαφορετικά ισοδύναμα δεξτρόζης (DE). Για παράδειγμα, στην έρευνα των Elez Garofulic et al. (2017) εξετάστηκε η εφαρμογή μαλτοδεξτρινών με DE ίσο με 4-7 και 13-17 για τον εγκλεισμό φαινολικών συστατικών από χυμό βύσσινου. Υψηλότερη συγκράτηση τόσο των φαινολικών οξέων (93 %), όσο και της ανθοκυανίνης ( 88.7 %) παρατηρήθηκε για την μαλτοδεξτρίνη με το υψηλότερο DE (13-17). Για το ίδιο DE (13-17), οι Cam et al. (2014) διαπίστωσαν υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού των φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος φλούδας ροδιού, χωρίς ωστόσο να είναι σημαντικά υψηλότερη από εκείνη στην περίπτωση που εφαρμόστηκε μαλτοδεξτρίνη με DE 18-20. Στην μελέτη των

Tonon et al. (2010) υψηλότερη συγκράτηση ανθοκυανίνης αλλά και σταθερότητα προϊόντος παρατηρήθηκε στην περίπτωση της μαλτοδεξτρίνης με DE 10 συγκριτικά εκείνης με DE 20.

Σε κάποιες περιπτώσεις έχουν εφαρμοστεί συνδυασμοί μαλτοδεξτρίνης με άλλους φορείς, όπως στην περίπτωση εγκλεισμού εκχυλίσματος καφέ από τους Pettinato et al. (2017), οι οποίοι χρησιμοποίησαν ως φορέα εγκλεισμού μίγμα ιουλίνης με μαλτοδεξτρίνη σε αναλογία 8:2 επιτυγχάνοντας αποδόσεις εγκλεισμού φαινολικών συστατικών της τάξης του 63%. Ακόμη, οι Boonchu and Utama-ang (2013) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού αντιοξειδωτικών συστατικών από τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας οίνου (red grape pomace) – υψηλότερο περιεχόμενο σε φαινολικά (κατεχίνη, επικατεχίνη) και απόδοση εγκλεισμού, καθώς και ελάχιστη πικρία και στυπτικότητα - επιτεύχθηκαν με εφαρμογή μαλτοδεξτρίνης και καρβοξυμεθυλ-κυτταρίνης (CMC) σε ποσοστό 10.21 και 0.21 % (w / v) αντίστοιχα. Ωστόσο, σε έρευνα τους οι Pasrija et al. (2015) μελετώντας τον εγκλεισμό φαινολικών συστατικών πράσινου τσαγιού σε διαφορετικούς φορείς απέρριψαν την χρήση μίγματος β-κυκλοδεξτρίνης με μαλτοδεξτρίνη καθώς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κάθε φορέας ξεχωριστά δίνει υψηλότερες αποδόσεις εγκλεισμού και κυρίως στην περίπτωση της μαλτοδεξτρίνης.

Βέβαια, έχει εξεταστεί από αρκετούς ερευνητές και η χρήση διαφορετικών φορέων για τον εγκλεισμό αντιοξειδωτικών συστατικών, όπως αραβικό κόμμι, κ-καραγεννάνη, β-κυκλοδεξτρίνη, άμυλο ταπιόκας, πρωτεΐνη ορού γάλακτος, με τους περισσότερους ωστόσο να καταλήγουν στην επιλογή της μαλτοδεξτρίνης ως καταλληλότερου φορέα (Krishnaiah et al., 2011, Tonon et al., 2010, Pasrija et al., 2015, Pang et al., 2014, Elez Garofulic et al., 2017).



**Πίνακας 3.4:** Παραδείγματα χρήσης διαφορετικών φορέων εγκλεισμού και ιδιότητες αυτών σε εφαρμογές μικροεγκλεισμού αρωματικών παραγόντων με εφαρμογή της ξήρανσης με ψεκασμό (Jafari et al., 2008)

Φορείς εγκλεισμού		Χαρακτηριστικά	Αρωματικά συστατικά και αιθέρια έλαια προς εγκλεισμό
Πολυσακχαρίτες	Υδρολυμένα άμυλα (στερεά σιροπιού, καλαμποκιού, μαλτοδεξτρίνες)	Καλό φράγμα οξυγόνου, φθινοί, χαμηλό ιξώδες σε υψηλή συγκέντρωση στερεών, περιορισμένη σταθερότητα γαλακτώματος	Κιτρικό οξύ, άρωμα τυριού, λινολεκικό οξύ, αιθέριο έλαιο φλούδας πορτοκαλιού, αιθέριο έλαιο λεμονιού
	Τροποποιημένα άμυλα (Capsul, N-Iok, Hi-Cap)	Υψηλή σταθερότητα γαλακτώματος, χαμηλό κόστος, μεγάλη ποικιλία σε ποιότητες	Αρωματικά συστατικά κρέατος, ιχθυέλαιο, πορτοκαλέλαιο, d-λιμονένιο, l-μενθόλη, βουτυρέλαιο, ελαιοριτίνη μαύρου πιπεριού, βιταμίνη E
	Κόμμεα (Αραβικό κόμμι, Mesquite gum)	Καλή γαλακτωματοποίηση, ικανοποιητική συγκράτηση πτητικών, ποικιλία σε ποιότητες, τιμή εξαρτώμενη της προσφοράς, πιθανότητα ύπαρξης ακαθαρσιών	Αιθέρια έλαια, μονοτερπένια, αιθέριο έλαιο φλούδας πορτοκαλιού, αιθέριο έλαιο καρδάμου, φυτικά έλαια, ελαιοριτίνη κάρδαμου, λινολεκικό οξύ, μπιξίνη, λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας, λιπίδια, acetyl pyrgroline, σογιέλαιο, d-λιμονένιο, βουτυρικός αιθυλεστέρας
	Κυκλοδεξτρίνες (α-,β-,γ-κυκλοδεξτρίνη)	Πολύ καλή συγκράτηση πτητικών, εξαιρετικό φράγμα οξυγόνου, σχετικά υψηλό κόστος	Άρωμα πεύκου, άρωμα μανιταριού, d-λιμονένιο, εξανοϊκός αιθυλεστέρας, αιθέριο έλαιο κύμινου, αιθέριο έλαιο λεμονιού
Πρωτεΐνες	Πρωτεΐνες γάλακτος (ορού γάλακτος, καζεϊνικά άλατα, σκόνες αποβουτυρωμένου γάλακτος)	Πολύ καλή γαλακτωματοποίηση, υψηλό κόστος, ευαίσθητες σε μεταβολή του pH, αλλεργιογόνες	Λινολεκικό οξύ, σογιέλαιο, βουτυρικός αιθυλεστέρας, καπρυλικός αιθυλεστέρας, ιχθυέλαιο, έλαιο ρίγανης, αιθέριο έλαιο κύμινου
	Πρωτεΐνη σόγιας		Αιθέριο έλαιο πορτοκαλιού
Βιοπολυμερή	Διαλυτά πολυσακχαρίδια σόγιας, χιτοζάνη, αλγινικά, προϊόντα της αντίδρασης Maillard, τροποποιημένη κυτταρίνη, ζελατίνη	Αντιβακτηριδιακή και αντιοξειδωτική δράση, καλή γαλακτωματοποίηση, υψηλή απόδοση εγκλεισμού	Σιτέλαιο, αιθέριο έλαιο νυχτολούλουδου, ιχθυέλαιο, PUFAs

### 3.3.1.2 Χαρακτηριστικά του ενεργού συστατικού

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες του συστατικού που πρόκειται να εγκλειστεί όπως το μοριακό βάρος, η σχετική πτητικότητα και η πολικότητα έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνών ότι αποτελούν βασικό κριτήριο επιλογής των κατάλληλων συνθηκών μικροεγκλεισμού όπως του φορέα εγκλεισμού και την αναλογία του ενεργού συστατικού προς αυτόν στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας. Χαρακτηριστικά του ενεργού συστατικού όπως υψηλή πτητικότητα ή ευαισθησία στην εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων αλλοίωσης, καθιστούν την διεργασία εγκλεισμού ιδιαίτερα απαιτητική, όταν όμως εφαρμοστούν οι κατάλληλες συνθήκες είναι δυνατή η επίτευξη υψηλής απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού.

#### Μοριακό βάρος

Το μοριακό βάρος είναι αντιπροσωπευτικό του μεγέθους του μορίου, το οποίο είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό διάχυσης. Πιο αναλυτικά, αύξηση του μοριακού μεγέθους έχει ως αποτέλεσμα μείωση του ρυθμού διάχυσης, συνεπώς, θα χρειαστεί περισσότερος χρόνος για τα μόρια ώστε να φτάσουν στην επιφάνεια των εκνεφωμένων σταγονιδίων κατά την διάρκεια της ξήρανσης, συνεπώς η συγκράτηση τους αυξάνεται. Ένας δεύτερος παράγοντας που ευνοεί τη συγκράτηση των μεγάλων μορίων είναι ότι η επιφάνεια του σταγονιδίου καθίσταται αδιαπέραστη από αυτά γρηγορότερα κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, καθώς τα φαινόμενα διάχυσης περιορίζονται σημαντικά σε χαμηλές περιεκτικότητες υγρασίας. Και οι δύο αυτοί παράγοντες ευνοούν τη διατήρηση των πτητικών συστατικών υψηλού μοριακού βάρους (Reineccius, 1988, Jafari et al., 2008).

Για παράδειγμα, σε μελέτη των Rosenberg et al. (1990) παρατηρήθηκε ότι κατά την ξήρανση με ψεκασμό προς εγκλεισμό δύο διαφορετικών εστέρων σε αραβικό κόμμι ο εξανοϊκός αιθυλεστέρας με μοριακό βάρος MB = 144 παρουσίασε καλύτερη συγκράτηση σε σχέση με τον βουτυρικό αιθυλεστέρα με μοριακό βάρος MB = 116. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Voilley et al. (1995) κατά την διεργασία εγκλεισμού πτητικών αρωματικών συστατικών σε γλυκόζη, μαλτόζη ή στερεά σιροπιού αραβοσίτου, δηλαδή στις περισσότερες περιπτώσεις τα συστατικά μεγαλύτερου μοριακού βάρους εμφάνισαν υψηλότερη συγκράτηση, εκτός από την περίπτωση της μαλτόζης και των στερεών σιροπιού αραβοσίτου με DE 28.5.

#### Σχετική πτητικότητα

Δεδομένου ότι η διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό πραγματοποιείται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, στις περισσότερες έρευνες κυμαίνεται μεταξύ 140 και 200 °C, η επίτευξη υψηλών αποδόσεων εγκλεισμού πτητικών συστατικών, τα οποία μπορεί να έχουν σημεία βρασμού χαμηλότερα της θερμοκρασίας της διεργασίας, είναι μια πολύ απαιτητική διαδικασία η οποία προϋποθέτει πολύ προσεκτικό πειραματικό σχεδιασμό.

Οι Bangs and Reineccius (1982) παρατήρησαν ότι η διατήρηση ουσιών (οκτανόλης, οκτενόλης, οκτανόνης και οκτανάλης) κατά τον εγκλεισμό με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό επηρεάστηκε από τη σχετική πτητικότητά τους. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι όσο υψηλότερη ήταν η σχετική πτητικότητα, τόσο χαμηλότερα ήταν αντίστοιχα τα επίπεδα συγκράτησης.

Οι Adamiec and Kalembe (2006) μελέτησαν την απόδοση εγκλεισμού αιθέριου ελαίου μέντας και elemi σε μαλτοδεξτρίνη. Η σύσταση του γαλακτώματος τροφοδοσίας αποτελείται από συνολικά στερεά 30 % και εξετάστηκαν οι αποδόσεις για ποσότητα ενεργού συστατικού ίση με 10, 20 και 30 % της μαλτοδεξτρίνης. Η θερμοκρασία εισόδου στον ξηραντήρα με ψεκασμό διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 150°C. Από την πειραματική διαδικασία, προέκυψε ότι η βέλτιστη ποσότητα αιθέριου ελαίου elemi ήταν 20 %, για την οποία προέκυψε απόδοση 41.4 %, ενώ, για το αιθέριο έλαιο μέντας, παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης εγκλεισμού με την αύξηση της περιεκτικότητας του γαλακτώματος σε λάδι, με την μέγιστη να είναι 70.6 % για το ποσοστό 10%. Οι ερευνητές, αναλύοντας κάθε αιθέριο έλαιο στα συστατικά του, απέδωσαν την χαμηλότερη αποτελεσματικότητα εγκλεισμού του ελαίου elemi στην ύπαρξη πτητικών συστατικών με σημεία βρασμού αρκετά χαμηλά (σημαντικά χαμηλότερα των 150 °C), με αποτέλεσμα να χάνεται μεγάλο μέρος της ουσίας, τόσο πριν την διεργασία, δηλαδή κατά την δημιουργία του γαλακτώματος τροφοδοσίας, όσο και κατά την διάρκεια της ξήρανσης με ψεκασμό. Αντίθετα, ο εγκλεισμός του αιθέριου ελαίου μέντας είναι πιο αποδοτικός δεδομένου ότι τα συστατικά της έχουν υψηλότερα σημεία βρασμού (212 °C). Οι ερευνητές προτείνουν περαιτέρω μελέτη για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών του εγκλεισμού ουσιών με πολύ πτητικά συστατικά, όπως επιλογή διαφορετικού εγκλειστικού, χαμηλότερες θερμοκρασίες εισόδου κ.α. Οι υψηλές αποδόσεις εγκλεισμού της μενθόλης σε τρεις διαφορετικούς φορείς εγκλεισμού (αραβικό κόμμα, CAPSUL, Hi-Cap 100) της τάξης του 68-87 %, που διαπιστώθηκαν από τους Soottitantawat et al., 2005 θα μπορούσαν να αποδοθούν στο υψηλό σημείο βρασμού της (212 °C). Η ποσότητα που χάνεται κατά την ξήρανση με ψεκασμό, στους 180 °C, λόγω φαινομένων εξάτμισης, είναι, ειδικά στην περίπτωση του Hi-Cap 100, πολύ μικρή.

Οι Pellicer et al. (2018) μελέτησαν την απόδοση εγκλεισμού τριών πτητικών συστατικών ενός συνθετικού αρώματος φράουλας, του ακετοξικού αιθυλεστέρα (ethyl acetoacetate, boiling point: 180,8 °C), της βενζυλικής αλκοόλης ( benzyl alcohol, boiling point: 205 °C) και της φραιζόνης ( ethyl 2- (2, 4-dimethyl-1,3-dioxolan-2-yl) acetate, fraistone, boiling point: 110 °C). Το άρωμα προστέθηκε σε ποσοστό 15 % των ολικών στερεών και η θερμοκρασία εισόδου στον ξηραντήρα με ψεκασμό ρυθμίστηκε στους 180 °C. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η απόδοση εγκλεισμού επηρεάζεται από το σημείο βρασμού του κάθε συστατικού, με εκείνα που έχουν σημείο κοντινό στη θερμοκρασία εισόδου της διεργασίας να σημειώνουν χαμηλές αποδόσεις, χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτο διότι η επίτευξη μιας υψηλής απόδοσης είναι πολυπαραγοντική.

## Πολικότητα

Η συγκράτηση των πτητικών συστατικών εξαρτάται και από την πολικότητά τους, πιο συγκεκριμένα, όσο πιο πολική είναι μία ουσία, τόσο χαμηλότερο είναι το ποσοστό συγκράτησής της. Αυτό θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι αυξανόμενης της πολικότητας αυξάνεται και η διαλυτότητα των συστατικών στο νερό. Έτσι κατά την διάρκεια της διεργασίας ξήρανσης μαζί με το νερό χάνονται, ως ένα βαθμό, και οι προς εγκλεισμό πολικές ενώσεις (Jafari et al., 2008).

Σε έρευνά τους οι Goubet et al. (1998) κατέληξαν στο αποτέλεσμα ότι η συγκράτηση των αρωματικών συστατικών με διαφορετικές λειτουργικές ομάδες ακολουθεί την σειρά οξέα < αλδεΐδες < εστέρες ≤ κετόνες ≤ αλκοόλες, με τα οξέα να παρουσιάζουν την χαμηλότερη συγκράτηση.

Συνεπώς, η συγκράτηση των πτητικών ουσιών εξαρτάται τόσο από το μοριακό βάρος όσο και από τη σχετική πτητικότητα, την πολικότητα, και το χημικό τύπο αυτών. Όλοι οι

παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν την ικανότητα διάχυσης των πτητικών συστατικών μέσω της επιφάνειας των σταγονιδίων. Επομένως, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι μικρές, πολύ πτητικές και υδατοδιαλυτές αρωματικές ουσίες είναι αυτές που παρουσιάζουν την χαμηλότερη συγκράτηση (Reineccius, 1988, 2001, 2004)

### **3.3.1.3 Μέθοδοι παραγωγής/ χαρακτηριστικά γαλακτώματος τροφοδοσίας**

Η παραγωγή του γαλακτώματος τροφοδοσίας είναι μια πολύ απαιτητική διαδικασία καθώς τα χαρακτηριστικά αυτού είναι σε μεγάλο βαθμό καθοριστικά για την επίτευξη παραγωγής εγκλεισμένου προϊόντος το οποίο να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του εκάστοτε ερευνητή, το οποίο σημαίνει μέγιστη συγκράτηση πτητικών και όσο δυνατόν χαμηλότερη συγκέντρωση του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια των σωματιδίων. Οι παράμετροι που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη είναι η συγκέντρωση των φορέων εγκλεισμού στο γαλάκτωμα, η αναλογία του ενεργού συστατικού προς τον φορέα εγκλεισμού (core:wall), το ιξώδες του γαλακτώματος, το μέγεθος των σταγονιδίων της διεσπαρμένης φάσης στο γαλάκτωμα και η μέθοδος γαλακτωματοποίησης.

#### **Συγκέντρωση φορέα εγκλεισμού στο γαλάκτωμα**

Έχει αποδειχθεί από πολλούς ερευνητές ότι η συγκέντρωση των στερεών στο γαλάκτωμα αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα που καθορίζει την απόδοση εγκλεισμού και τη συγκράτηση των πτητικών συστατικών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με ψεκασμό (Re, 1998, McNamee et al., 2001, Soottitantawat et al., 2005a). Πιο αναλυτικά, η υψηλή περιεκτικότητα στερεών στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας αυξάνει τη συγκράτηση κυρίως μειώνοντας το χρόνο που απαιτείται για την δημιουργία ημιπερατής μεμβράνης στην επιφάνεια των σωματιδίων που υπόκεινται σε ξήρανση. Ακόμη, υψηλότερη συγκέντρωση σε στερεά έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος, γεγονός που σημαίνει περιορισμό της κίνησης μέσα στα σταγονίδια και επομένως, τον ταχύτερο σχηματισμό κρούστας στην επιφάνεια των σταγόνων. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί στο πόσο υψηλή μπορεί να είναι η συγκέντρωση σε στερεά καθώς ενδέχεται να παρατηρηθεί κορεσμός του γαλακτώματος, με αποτέλεσμα τα αδιάλυτα στερεά να μην μπορούν να συνεισφέρουν στην διεργασία, αλλά και υπερβολική αύξηση του ιξώδους σε σημείο που λειτουργεί εις βάρος της διεργασίας. Για τους λόγους αυτούς έχει προταθεί η ύπαρξη μιας βέλτιστης περιεκτικότητας σε στερεά για τον εγκλεισμό αρωματικών συστατικών με εφαρμογή της ξήρανσης με ψεκασμό (Jafari et al., 2008). Η συγκέντρωση των στερεών στο γαλάκτωμα, στις περισσότερες δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες, κυμαίνεται από 10 % w/v έως 40 % w/v (g φορέα εγκλεισμού/100 ml γαλακτώματος).

Για παράδειγμα, οι Liu et al. (2001) απέδειξαν ότι η συγκράτηση του d-λιμονένιου (>95%) ήταν ανεξάρτητη από την συγκέντρωση των στερεών του γαλακτώματος, αντιθέτως οι αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις του βουτυρικού και προπιονικού αιθυλεστέρα επηρεάστηκαν σημαντικά από τη συγκέντρωση των στερεών.

Οι Soottitantawat et al. (2005a) εξέτασαν την περιεκτικότητα στερεών σε ένα εύρος 10- 40 % w/v, για τον εγκλεισμό της l-μενθόλης, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι, αυξανόμενης της συγκέντρωσης των φορέων εγκλεισμού στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας, αυξάνεται και η απόδοση εγκλεισμού, η οποία έφτασε έως και 87%, και πρότειναν ως βέλτιστη το 30 % w/v.

Οι Adamiec and Kalemba (2006) πρότειναν επίσης ως ιδανική την περιεκτικότητα σε στερεά ίση με 30 % w/w για τον εγκλεισμό αιθέριων ελαίων μέντας και elemi, ενώ οι Fernandes et al. (2014) εργάστηκαν με περιεκτικότητα της τάξης του 20 % επιτυγχάνοντας σχετικά υψηλό ποσοστό απόδοσης εγκλεισμού αιθέριου ελαίου δενδρολίβανου (60.22 %). Οι Huynh et al. (2008) μελέτησαν την επίδραση της σύστασης τροφοδοσίας, στον εγκλεισμό αιθέριου ελαίου λεμονιού, στο εύρος 20-40 % w/v και κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι όσο ψηλότερη συγκέντρωση στερεών τόσο πιο αποδοτική η διεργασία, προτείνοντας ως σύσταση τροφοδοσίας, στο πείραμα τους, το 40 %, ενώ δεν αποκλείουν το ενδεχόμενο επίτευξης καλύτερης απόδοσης στην περίπτωση που χρησιμοποιούσαν και μεγαλύτερο ποσοστό.

Οι Bayram et al. (2005) εξέτασαν την απόδοση εγκλεισμού εκχυλίσματος μούρων sumac σε περιεκτικότητες στερεών 5, 10, 15, 20 και 25 %. Βρέθηκε ότι η συγκέντρωση των στερεών έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της γεύσης και υψηλότερη περιεκτικότητα στερεών είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού, ενώ πρότειναν ότι εφαρμογή υψηλότερης συγκέντρωσης στερεών θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα.

Στις εργασίες που μελετάται ο εγκλεισμός αντιοξειδωτικών συστατικών παρατηρείται, ως επί το πλείστον, σχετικά χαμηλότερη συγκέντρωση στερεών η οποία ξεκινά από το 6 % (w/v) και σε λίγες περιπτώσεις ξεπερνά το 30 % (w/v) (Tonon et al., 2010, Santiago- Adame et al., 2015, Nosari et al., 2015, Tengse et al., 2016).

Πιο αναλυτικά, οι Boonchu and Utama-ang (2013) μελετώντας την επίδραση της συγκέντρωσης των στερεών του γαλακτώματος στον εγκλεισμό φαινολικών συστατικών σε ένα εύρος της τάξης του 7-28 % (w/v) κατέληξαν σε βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού για συγκέντρωση στερεών ίση με 10.42 % (w/v).

Ακόμη, οι Raini et al. (2015) συγκρίνοντας επίσης την απόδοση εγκλεισμού φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος ελαιοπυρήνα για δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις μαλτοδεξτρίνης ( 10 και 50 % , w/v ) κατέληξαν σε σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις στην περίπτωση συγκέντρωσης ίσης με 10 % (w/v). Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα των Vidovic et al. (2014) οι οποίοι είχαν υψηλότερη ανάκτηση φαινολικών, φλαβονοειδών, αιθέριου ελαίου, καρβακρόλης, αλλά και αντιοξειδωτική δράση στην περίπτωση χαμηλότερης συγκέντρωσης φορέα εγκλεισμού, δηλαδή ίσης με 10 % (w/v) σε σύγκριση με εκείνες για 20 και 50 % (w/v).

Αντίθετα, οι Nunes et al. (2015), συγκρίνοντας διαφορετικές συγκεντρώσεις μαλτοδεξτρίνης (20, 30 και 40 % , w/v ), παρατήρησαν αύξηση της απόδοσης εγκλεισμού των φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος του φυτού *Ilex paraguariensis* στις υψηλότερες συγκεντρώσεις, χωρίς ωστόσο να είναι σημαντική η διαφορά (95.97, 96.72 και 96.6 % αντίστοιχα).

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι η συγκέντρωση των στερεών του γαλακτώματος έχει πιο έντονη επίδραση στις ουσίες που είναι πιο ευαίσθητες σε απώλειες λόγω εξάτμισης, συνήθως ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους (Sootitawantawat et al., 2005b, Liu et al., 2001).

### **Αναλογία ενεργού συστατικού προς φορέα εγκλεισμού (core:wall)**

Ένας συνήθης όρος που χρησιμοποιείται σε συστήματα εγκλεισμού είναι ο λόγος πυρήνα προς φορέα. Έχει παρατηρηθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις ενεργού συστατικού οδηγούν σε χαμηλή απόδοση εγκλεισμού καθώς και σε υψηλή συγκέντρωση αυτού στην επιφάνεια της παραγόμενης κάψουλας (Jafari et al., 2008). Στις περισσότερες από τις δημοσιευμένες εργασίες αναφέρεται μία βέλτιστη συγκέντρωση ενεργού συστατικού, η οποία μπορεί να εγκλειστεί αποτελεσματικά. Σε γενικές γραμμές, ένας τυπικός λόγος πυρήνα: φορέα της τάξης του 1:4 έως 1:3 αναφέρεται ως βέλτιστος για κοινά υλικά εγκλεισμού όπως αραβικό κόμμα και τροποποιημένα άμυλα (Madene et al., 2006, Desai and Park, 2005b, Risch, 1995, Soottitawat et al., 2005, Reineccius, 2004).

Για παράδειγμα, οι Beristain et al. (2001) μελέτησαν τον εγκλεισμό αιθέριου ελαίου καρδάμου σε αναλογίες προς τον φορέα εγκλεισμού, ο οποίος ήταν κόμμα mesquite (30g κόμμος /100 g γαλακτώματος), ίσες με 5:1, 4:1 και 3:1. Το καλύτερο ποσοστό συγκράτησης (83.6 %) πτητικών επιτεύχθηκε στην αναλογία 4:1 ενώ το χαμηλότερο (66.9 %) στην 3:1.

Στην προσπάθεια εγκλεισμού διακετυλίου σε φορέα εγκλεισμού σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (30 % στερεά), οι Reineccius et al. (2004) βρήκαν απόδοση εγκλεισμού της τάξης του 75% όταν η αρχική συγκέντρωση του ενεργού συστατικού ήταν 500 ppm, ενώ στην περίπτωση που εφάρμοσαν 600 ppm η απόδοση βρέθηκε μόλις στο 60%.

Οι Tonon et al. (2011) εξέτασαν την επίδραση της συγκέντρωσης του φορέα εγκλεισμού, πιο συγκεκριμένα αραβικού κόμμος, και του ενεργού συστατικού, αιθέριου ελαίου λιναρόσπορου, στην απόδοση εγκλεισμού. Τα πειράματά τους κινήθηκαν σε ένα εύρος συγκεντρώσεων της τάξης του 10-30% ( g αραβικού κόμμος ή αιθέριου ελαίου/ 100 g στερεών γαλακτώματος). Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι η συγκέντρωση ενεργού συστατικού ήταν ο παράγοντας που επηρέασε περισσότερο την αποτελεσματικότητα εγκλεισμού (51-92%) και πιο συγκεκριμένα όσο αυτή αυξανόταν τόσο χαμηλότερη ήταν η αποτελεσματικότητα. Αντίθετα, η περιεκτικότητα σε στερεά είχε θετική επίδραση στην αποτελεσματικότητα, δηλαδή η αύξηση της περιεκτικότητας σε στερεά είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη αποτελεσματικότητα εγκλεισμού.

Οι Adamiec and Kalemba (2006) μελέτησαν την απόδοση εγκλεισμού αιθέριου ελαίου μέντας και elemi σε μαλτοδεξτρίνη. Η σύσταση του γαλακτώματος τροφοδοσίας αποτελείτο από συνολικά στερεά 30% και εξετάστηκαν οι αποδόσεις για περιεκτικότητες ενεργού συστατικού ίσες με 10, 20 και 30% της περιεκτικότητας σε μαλτοδεξτρίνη. Από την πειραματική διαδικασία, προέκυψε ότι η βέλτιστη ποσότητα αιθέριου ελαίου elemi ήταν 20%, για την οποία προέκυψε απόδοση 41.4%, ενώ, για το αιθέριο έλαιο μέντας, παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης εγκλεισμού με αύξηση της περιεκτικότητας του γαλακτώματος σε ενεργό συστατικό, με την μέγιστη να είναι 70.6% για το ποσοστό 10%.

Παρόμοιες αναλογίες φορέα εγκλεισμού προς ενεργό συστατικό έχουν εφαρμοστεί και για τον εγκλεισμό αντιοξειδωτικών συστατικών με ξήρανση με ψεκασμό (Tonon et al., 2010, Pasrija et al., 2015, Pang et al., 2014, Spinelli et al., 2015), ενώ η επίδραση αυτής στην απόδοση της διεργασίας έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών μελετών.

Συγκεκριμένα, οι Cam et al. (2014) εξέτασαν την απόδοση εγκλεισμού φαινολικών από εκχύλισμα φλούδας ροδιού για αναλογίες ενεργού συστατικού : φορέα (μαλτοδεξτρίνη) ίσες με 1:1, 1:3, 1:6 και 1:10 και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυξανόμενη της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού αυξάνεται και η απόδοση εγκλεισμού. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των Spinelli et al. (2016) οι οποίοι παρατήρησαν ότι κατά τον

εγκλεισμό εκχυλίσματος πλούσιου σε αντιοξειδωτικά σε τροποποιημένο άμυλο (Capsul)βέλτιστη συγκράτηση επιτεύχθηκε στην αναλογία 1:2 και μικρότερη στην 1:8. Το ίδιο παρατήρησαν και οι Krishnaiah et al. (2012) κατά τον εγκλεισμό εκχυλίσματος του φυτού *Morinda citrifolia* σε φορείς κ- καραγενάνη και μαλτοδεξτρίνη.

Οι Garofulic et al. (2017) εξετάζοντας την επίδραση της αναλογίας φορέα : ενεργού συστατικού (χυμός βύσσινου), για τρεις διαφορετικούς φορείς (MD 4-7 DE, MD 13-17 DE, GA) και τρεις αναλογίες (1:1, 2:1, 3:1), στη συγκράτηση των φαινολικών οξέων, ανθοκυανίνης και γλυκοζιτών φλαβονόλης, παρατήρησαν ότι οι βέλτιστες αναλογίες ήταν 2:1 στην περίπτωση μαλτοδεξτρίνης με 4-7 DE και 3:1 για την μαλτοδεξτρίνη με 13-17 DE και το αραβικό κόμμα. Στην περίπτωση της μαλτοδεξτρίνης με 13-17 DE και του αραβικού κόμματος σημειώθηκε αύξηση της συγκράτησης των φαινολικών συστατικών μειώνοντας την συγκέντρωση του ενεργού συστατικού.

### **Ιξώδες γαλακτώματος**

Η αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος τροφοδοσίας, μέχρι το βέλτιστο σημείο, καταστέλλει την εσωτερική κυκλοφορία και την ταλάντωση των σταγονιδίων, αλλά επιταχύνει και την δημιουργία ημιπερατής μεμβράνης βελτιώνοντας έτσι τη συγκράτηση των πτητικών συστατικών. Ωστόσο, αυξάνοντας το ιξώδες πέραν αυτού του βέλτιστου σημείου προκαλείται μείωση στη συγκράτηση των προς εγκλεισμό ουσιών, λόγω της μεγαλύτερης έκθεσης και του αργού σχηματισμού των διακριτών σταγονιδίων κατά τη διάρκεια της εκνέφωσης, καθώς και των δυσκολιών που παρουσιάζονται κατά το σχηματισμό των σταγονιδίων (Jafari et al., 2008).

Σε έρευνά τους οι Rosenberg et al. (1990) και οι Silva and Re (1996) μελέτησαν την επίδραση της προσθήκης αλγινικού νατρίου στον εγκλεισμό του καπροϊκού αιθυλεστέρα και της ευγενόλης αντίστοιχα εφαρμόζοντας ξήρανση με ψεκάσμο. Κατέληξαν σε μία βέλτιστη τιμή συγκράτησης συναρτήσει της συγκέντρωσης του αλγινικού νατρίου, η οποία επιτεύχθηκε για τιμές ιξώδους που κυμάνθηκαν από 125-250 mPa s στην περίπτωση γαλακτώματος τροφοδοσίας που αποτελείτο από αραβικό κόμμα / καπροϊκό αιθυλεστέρα και στην περίπτωση γαλακτώματος μαλτοδεξτρίνης / ευγενόλης η τιμή ήταν 105 mPa s. Πιο συγκεκριμένα οι Rosenberg et al. (1990), βρήκαν ότι για συνολική συγκέντρωση στερεών γαλακτώματος ίση με 30%, εκ των οποίων το 96.7% αποτελείτο από αραβικό κόμμα και το 0.3% από αλγινικό νάτριο, και συγκέντρωση καπροϊκού αιθυλεστέρα ίση με 15% των στερεών επιτεύχθηκε η μέγιστη συγκράτηση της τάξης του 79%. Οι ερευνητές υποστήριξαν ότι σε αυτές τις τιμές ιξώδους ήταν σχετικά εύκολος ο ψεκάσμος και σχηματίστηκαν σφαιρικά σωματίδια.

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Liu et al. (2001) κατά την προσθήκη ζελατίνης σε ποσοστό 1 % (w/w) στην διεργασία εγκλεισμού βουτυρικού αιθυλεστέρα από αραβικό κόμμα, δηλαδή παρατηρήθηκε αύξηση στην συγκράτηση του ενεργού συστατικού η οποία αποδόθηκε στον ταχύτερο σχηματισμό κρούστας στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Αντίθετα στην περίπτωση που χρησιμοποίησαν διαλυτούς πολυσακχαρίτες σόγιας ως γαλακτωματοποιητές δεν παρατήρησαν κάποια αξιόλογη αλλαγή στη συγκράτηση, όπως και στην περίπτωση των Reineccius and Coulter (1969) σε έρευνα που μελέτησαν την αύξηση του ιξώδους με προσθήκη κόμματος ξανθάνης για τον εγκλεισμό αρωματικών συστατικών.

### **Μέγεθος σταγονιδίων διεσπαρμένης φάσης στο γαλάκτωμα**

Έρευνες έχουν δείξει ότι σημαντική επίδραση στην απόδοση εγκλεισμού παρουσιάζει και το μέγεθος των σταγονιδίων του γαλακτώματος. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί ότι μειώνοντας το μέγεθος των σταγονιδίων η απόδοση εγκλεισμού τείνει να αυξηθεί (Jafari et al., 2008).

Συγκεκριμένα, οι Risch and Reineccius (1988) σε διεργασία εγκλεισμού πορτοκαλέλαιου σε αραβικό κόμμι και τροποποιημένο άμυλο με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό παρατήρησαν ότι μειώνοντας, με χρήση μικρορευστοποιητή, το μέγεθος των σταγονιδίων στο ελάχιστο (0.90 μm) κατάφεραν υψηλότερη συγκράτηση και χαμηλότερη συγκέντρωση ενεργού συστατικού στην επιφάνεια της σκόνης. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι τα γαλακτώματα με μεγαλύτερου μεγέθους σταγονίδια παρήγαγαν προϊόντα εγκλεισμού με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (shelf life).

Σε αντίθετα συμπεράσματα κατέληξαν οι Minemoto et al. (2002) οι οποίοι παρατήρησαν ότι στην περίπτωση εγκλεισμού λινελαϊκού οξέος σε αραβικό κόμμι ή μαλτοδεξτρίνη το τελικό προϊόν που προέκυψε από ξήρανση γαλακτώματος με μικρότερα σταγονίδια οξειδώθηκε πιο αργά σε σχέση με αυτό από το γαλάκτωμα με μεγαλύτερα σταγονίδια, πιθανόν λόγω χαμηλότερης συγκέντρωσης ενεργού συστατικού στην επιφάνεια του προϊόντος. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα της μελέτης των Yoshii et al. (2001) όπου για διαφορετικά υλικά τοιχώματος (αραβικό κόμμι, μαλτοδεξτρίνη και πολυσκχαρίτης σόγιας), αύξηση της διαμέτρου των σταγονιδίων του γαλακτώματος οδήγησε σε μείωση της διατήρησης των αρωματικών συστατικών (βουτυρικός αιθυλεστέρας) κατά την ξήρανση με ψεκασμό. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν επίσης ότι το μέγεθος της παραγόμενης σκόνης δεν επηρεάζεται από την αλλαγή του μεγέθους των σταγονιδίων του γαλακτώματος.

Οι Re and Liu (1996) παρατήρησαν ότι η συγκράτηση των πτητικών συστατικών ήταν άμεσα συσχετισμένη με τη διαφορά μεταξύ του μεγέθους των σταγονιδίων του γαλακτώματος και του μεγέθους των σωματιδίων του προϊόντος μικροεγκλεισμού, δηλαδή, υποστήριξαν ότι η συγκράτηση των πτητικών βελτιώθηκε με την αύξηση αυτής της διαφοράς αυτής. Παρ' όλα προτείνεται περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον παραπάνω συσχετισμό (γαλακτώματος και τελικού προϊόντος).

Οι Huynh et al. (2008) εξέτασαν, μεταξύ άλλων, και την επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων στην απόδοση εγκλεισμού του λεμονομυρτιελαίου σε μαλτοδεξτρίνη συνδυασμένη με πρωτεΐνη ορού γάλακτος ή με τροποποιημένο άμυλο (Hi-Cap 100) σε αναλογία 3:1. Πιο αναλυτικά, οι ερευνητές υποστήριξαν ότι όσο πιο μικρά τα σωματίδια του γαλακτώματος τροφοδοσίας, τόσο υψηλότερη η ανάκτηση και η προστασία του ενεργού συστατικού στο τελικό προϊόν. Προκειμένου να δημιουργήσουν τα μικρότερα δυνατά σωματίδια, χρησιμοποίησαν μικρορευστοποιητή (model M-110L, Microfluidics Corporation, Newton, MA), για τον οποίο εξέτασαν αρκετές τιμές για την πίεση λειτουργίας, καταλήγοντας στα 40 MPa, για έναν κύκλο ρευστοποίησης, ως την τιμή πάνω από την οποία τα σωματίδια του γαλακτώματος δεν σπάνε προς σχηματισμό μικρότερων, αλλά τείνουν να συνενωθούν προς σχηματισμό μεγαλύτερων. Η μικρότερη τιμή διαμέτρου σωματιδίων γαλακτώματος που δημιούργησαν ήταν τα 110 nm, για τα οποία προέκυψε ποσοστό συγκράτησης ελαίου από 54-90%.

Οι Soottitantawat et al. (2003) μελέτησαν την επίδραση της μέσης διαμέτρου των σταγονιδίων γαλακτώματος στον εγκλεισμό τριών αρωματικών συστατικών με χρήση διαφορετικών φορέων (αραβικό κόμμι, μαλτοδεξτρίνη, πολυσακχαρίτες και τροποποιημένα άμυλα). Η σύσταση του γαλακτώματος αποτελούταν από 40% στερεά και προσθήκη



ενεργών συστατικών σε ποσοστό 25% της συγκέντρωσης των στερεών. Όσον αφορά τις πιο υδατοδιαλυτές αρωματικές ύλες όπως ο βουτυρικός και ο προπιονικός αιθυλεστέρας, παρατήρησαν διαφορετική συμπεριφορά από το d-λιμονένιο (πιο λιπόφιλο) όπου φάνηκε να υπάρχει ένα βέλτιστο μέγεθος σταγονιδίων γαλακτώματος για τη διατήρηση των ουσιών αυτών. Συγκεκριμένα, η μέγιστη απόδοση εγκλεισμού του βουτυρικού αιθυλεστέρα (60%) επιτεύχθηκε για μέση διάμετρο κάψουλας 1.5-2.0 μm, για τον προπιονικό αιθυλεστέρα (55%) για 2.5-3.5 μm, ενώ για το d-λιμονένιο (90 %) για τιμές <1 μm. Η εξήγησή τους σχετικά με την υψηλή απώλεια των εστέρων στην περίπτωση των μικρών σταγονιδίων ήταν ότι θα μπορούσε να οφείλεται στη μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής των λεπτών γαλακτωμάτων, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερη δυνατότητα διάχυσης των ουσιών προς την επιφάνεια και επομένως απώλεια κατά την ξήρανση. Η χαμηλή συγκράτηση στην περίπτωση των μεγαλύτερων σταγονιδίων αποδόθηκε στα φαινόμενα διάτμησης. Ακόμη παρατήρησαν αύξηση στην συγκέντρωση του επιφανειακού ενεργού συστατικού με αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος.

Οι Soottitantawat et al. (2005b) σε μια επόμενη έρευνα μελέτησαν τον συσχετισμό του μεγέθους των σωματιδίων του γαλακτώματος με την απόδοση εγκλεισμού, χρησιμοποιώντας ως φορείς εγκλεισμού αραβικό κόμμι (GA), τροποποιημένο άμυλο (Hi-CAP 100) και μαλτοδεξτρίνη (MD), 20 % (w/v), και ως ενεργό συστατικό το D-λιμονένιο σε αναλογία ενεργού συστατικού προς φορέα εγκλεισμού ίσου με 1:4. Η θερμοκρασία εισόδου διατηρήθηκε σταθερή στους 200°C. Οι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η απόδοση είναι φανερά καλύτερη στην περίπτωση των μικρών σωματιδίων (0.67-1.04 μm) για κάθε εγκλειστικό, ενώ η μεγαλύτερη ανάκτηση, της τάξεως του 87-100 %, επιτεύχθηκε στο μίγμα GA:MD (1:1) για τα σωματίδια με την μικρότερη διάμετρο (0.84-1.04 μm). Η μικρότερη ανάκτηση παρατηρήθηκε στην περίπτωση του Hi-Cap 100 για μεγάλα σωματίδια (2.1-2.38 μm) και υπολογίστηκε στο 74-80 %.

Όπως είναι φανερό από το σύνολο των ερευνών που παρουσιάστηκαν, το μέγεθος των σωματιδίων στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας επηρεάζει σημαντικά την απόδοση εγκλεισμού, και κυρίως αρωματικών συστατικών. Το βασικό πλεονέκτημα της δημιουργίας γαλακτωμάτων με μικρά σωματίδια είναι ότι επιτυγχάνεται αυξημένη συγκράτηση των πτητικών συστατικών, αλλά και μικρότερη συγκέντρωση ενεργού συστατικού στην επιφάνεια της κάψουλας, γεγονός που ευνοεί την σταθερότητα του τελικού προϊόντος εγκλεισμού κατά την αποθήκευση. Τα παραπάνω έχουν άμεσο οικονομικό όφελος, τόσο για τον κατασκευαστή, όσο και για τον καταναλωτή, καθώς καλύτερος εγκλεισμός αρωματικών πτητικών συστατικών σημαίνει εφαρμογή μικρότερης ποσότητας σκόνης ( τελικού προϊόντος εγκλεισμού) στο προϊόν (τροφή) και μικρότερες ποσότητες επιφανειακού ενεργού συστατικού σημαίνουν χαμηλότερα ποσοστά οξείδωσης και άρα επέκταση του χρόνου ζωής (shelf life) του προϊόντος.

### **Μέθοδος γαλακτωματοποίησης**

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου γαλακτωματοποίησης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της διεργασίας εγκλεισμού. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων γαλακτωματοποίησης οδηγεί σε διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως μέγεθος των σωματιδίων στο γαλάκτωμα και ιξώδες τα οποία με τη σειρά τους, όπως έχει αναφερθεί, επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Οι Mongenot et al. (2000), οι οποίοι μελέτησαν τον εγκλεισμό αρώματος τυριού σε πολυσακχαρίτες (μαλτοδεξτρίνη, τροποποιημένο άμυλο), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση υπερήχων αυξάνει την ικανότητα γαλακτωματοποίησης στην περίπτωση που ο φορέας εγκλεισμού δεν εμφανίζει καλές ιδιότητες γαλακτωματοποίησης όπως στην

περίπτωση της μαλτοδεξτρίνης, και οδηγεί σε υψηλότερη συγκράτηση των αρωματικών συστατικών συγκριτικά με τη χρήση ομογενοποιητή. Από την άποψη της απόδοσης εγκλεισμού, το καλύτερο σύστημα εγκλεισμού του αρώματος τυριού λαμβάνεται χρησιμοποιώντας υπερήχους, για το στάδιο γαλακτωματοποίησης, και τροποποιημένο άμυλο ως φορέα (94,3 %). Στο ίδιο σύστημα εγκλεισμού, όταν εφαρμόστηκε γαλακτωματοποίηση με χρήση ομογενοποιητή (Ultra Turrax) δημιουργήθηκαν μεγαλύτερα σωματίδια εγκλεισμού και η απόδοση ανήλθε στο 83%. Ωστόσο, όταν εξετάστηκε το ποσοστό ανάκτησης κάθε συστατικού του αρώματος ξεχωριστά στο τελικό προϊόν, το σύστημα για το οποίο προέκυψαν τα υψηλότερα ποσοστά ήταν αυτό με χρήση ομογενοποιητή για το στάδιο γαλακτωματοποίησης και μαλτοδεξτρίνης ως φορέα εγκλεισμού.

Ακόμη, οι Jafari et al. (2007) μελέτησαν την επίδραση της μεθόδου γαλακτωματοποίησης στον εγκλεισμό D-λιμονένιου (core:wall= 1:4) σε φορέα μαλτοδεξτρίνη σε συνδυασμό με τροποποιημένο άμυλο ή συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (40 % στερεά). Πιο αναλυτικά συνέκριναν δυο μεθόδους γαλακτωματοποίησης οι οποίες ήταν στην μια περίπτωση η χρήση ομογενοποιητή σε συνδυασμό με μικρορευστοποιητή στα 60 MPa για έναν κύκλο ρευστοποίησης και στην άλλη περίπτωση η χρήση ομογενοποιητή σε συνδυασμό με υπέρηχους στην υψηλότερη απόδοση για 100 sec. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, παρόλο που τόσο η χρήση μικρορευστοποιητή όσο και οι υπέρηχοι έδωσαν σωματίδια μικρότερου μεγέθους (740 nm και 750 nm) σε σχέση με τον ομογενοποιητή (1.2 μm), οι αποδόσεις εγκλεισμού είχαν πολύ μικρή απόκλιση με την μεγαλύτερη να επιτυγχάνεται στην περίπτωση του μικρορευστοποιητή (86.2 %) και ακολούθησαν οι υπέρηχοι (85.8 %) και τέλος ο ομογενοποιητής (82.7 %). Ωστόσο, στην περίπτωση των υπερήχων, το ποσοστό του επιφανειακού ελαίου στο τελικό προϊόν, ήταν σχεδόν το διπλάσιο σε σχέση με εκείνο του μικρορευστοποιητή παρόλο που το μέγεθος των σωματιδίων γαλακτώματος και οι συνθήκες ξήρανσης ήταν ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Οι ερευνητές σχολιάζουν ότι δύο συστήματα γαλακτωματοποίησης μπορούν να παράγουν δύο διαφορετικά τελικά προϊόντα, ακόμη και αν παράγουν γαλακτώματα με το ίδιο μέγεθος και αν χρησιμοποιείται ακριβώς η ίδια σύνθεση γαλακτώματος. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από άλλες παραμέτρους όπως η κατανομή μεγέθους του γαλακτώματος, η σταθερότητα των γαλακτωμάτων κατά την ξήρανση με ψεκασμό, το μέγεθος σωματιδίων σκόνης και η επίδραση της ίδιας της γαλακτωματοποίησης στις ιδιότητες του γαλακτώματος.

#### **3.3.1.4 Λειτουργικές παράμετροι της ξήρανσης με ψεκασμό**

Η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας της διεργασίας της ξήρανσης με ψεκασμό, μεταξύ των οποίων της θερμοκρασίας του γαλακτώματος τροφοδοσίας και της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του αέρα είναι μία εξίσου απαιτητική και αναγκαία διαδικασία με την παραγωγή του ιδανικού γαλακτώματος για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης εγκλεισμού.

#### **Θερμοκρασία γαλακτώματος τροφοδοσίας**

Η συγκεκριμένη παράμετρος έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές, μεταξύ των οποίων οι Sivetz and Foote (1963) οι οποίοι παρατήρησαν ότι σε διεργασία εγκλεισμού εκχυλίσματος καφέ, ψύχοντας την τροφοδοσία πριν από την εφαρμογή της ξήρανσης βελτιώθηκε το άρωμα του καφέ στο τελικό προϊόν εγκλεισμού, γεγονός το οποίο απέδωσαν στην αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος, η οποία με τη σειρά της επηρέασε την εσωτερική κυκλοφορία και το μέγεθος των σταγονιδίων και επομένως την τάση ατμών και

την ικανότητα διάχυσης των αρωματικών συστατικών (Reineccius, 2001, 2004, Jafari et al., 2008).

Επιπλέον στην περίπτωση που ο επιτυχής μικροεγκλεισμός του συστατικού απαιτεί υψηλή συγκέντρωση στερεών η αύξηση της θερμοκρασίας του γαλακτώματος τροφοδοσίας και η επόμενη μείωση του ιξώδους ευνοεί τη διεργασία καθώς, όπως έχει αναφερθεί, σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζεται μια βέλτιστη τιμή ιξώδους η οποία δεν πρέπει να ξεπεραστεί προκειμένου να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση.

### **Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου αέρα**

Έχει αποδειχθεί ότι οι αρκετά υψηλές θερμοκρασίες εισόδου (160-220 °C) ευνοούν τον ταχύ σχηματισμό ημιπερατής μεμβράνης στην επιφάνεια των σταγονιδίων, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο μέγιστη συγκράτηση των πτητικών συστατικών. Παρ' όλα αυτά η θερμοκρασία εισόδου δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια όρια, καθώς για μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας παρατηρούνται φαινόμενα αλλοίωσης του τελικού προϊόντος ή εμφάνιση της συμπεριφοράς 'αερόστατου', αλλά και ατέλειες στην επιφάνεια των σωματιδίων, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα απώλεια πτητικών κατά τη διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό. Η εμφάνιση της συμπεριφοράς αερόστατου παρατηρείται όταν συσσωρεύεται ατμός στο εσωτερικό του σταγονιδίου κατά την ξήρανση και έχει ως αποτέλεσμα το σταγονίδιο να φουσκώσει με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός κοίλου σωματιδίου με λεπτά τοιχώματα. Αυτό το σωματίδιο δεν είναι ικανό να συγκρατήσει τα υλικά του πυρήνα. Η θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται η συμπεριφορά αερόστατου φαίνεται να σχετίζεται κυρίως με το είδος του φορέα εγκλεισμού και τις συνθήκες λειτουργίας του ξηραντήρα ψεκασμού (Jafari et al., 2008). Έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες μελέτες που υποστηρίζουν τόσο αύξηση της συγκράτησης των πτητικών με άνοδο της θερμοκρασίας, μέχρι ενός βέλτιστου σημείου, όσο και το αντίθετο.

Οι Noshad et al. (2015) εξέτασαν την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου στον εγκλεισμό βανιλίνης, χρησιμοποιώντας ως φορείς μαλτοδεξτρίνη και απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές εφάρμοσαν τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες οι οποίες ήταν οι 180, 190 και 200 °C και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυξανόμενη της θερμοκρασίας μειώνεται η απόδοση εγκλεισμού. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα εισόδου επηρεάζουν την ισορροπία μεταξύ του ρυθμού εξάτμισης του νερού και του σχηματισμού μεμβράνης με αποτέλεσμα την διάσπαση της κρούστας των σχηματιζόμενων σωματιδίων.

Στην μελέτη εγκλεισμού αιθέριου ελαίου καφέ με φορέα αραβικό κόμμι, οι Frascareli et al. (2012) εφάρμοσαν θερμοκρασίες εισόδου σε ένα ευρύ φάσμα μεταξύ 150-200 °C και κατέληξαν σε βέλτιστη θερμοκρασία εισόδου τους 170 °C, με ποσοστό συγκράτησης 96.18 %, πάνω από την οποία τόσο η συγκράτηση όσο και η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού σημείωσαν μείωση, γεγονός το οποίο σημαίνει αύξηση της ποσότητας του επιφανειακού ενεργού συστατικού. Οι ερευνητές απέδωσαν αυτήν την επίδραση της θερμοκρασίας στη συγκράτηση στην υψηλότερη εξάτμιση των πτητικών που εμφανίζεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Διαφορετικά αποτελέσματα παρατηρήθηκαν από τους Shiga et al. (2004) στον εγκλεισμό αρώματος μανιταριού με ξήρανση με ψεκασμό, όπου αύξηση στη θερμοκρασία του αέρα εισόδου είχε ως αποτέλεσμα αύξηση στο ποσοστό συγκράτησης.

Οι Finney et al. (2002) παρατήρησαν επίσης ότι η συγκέντρωση του επιφανειακού ενεργού συστατικού αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα. Αντίθετα, οι Bhandari et al. (1992) και οι Anker and Reineccius (1988) παρατήρησαν μείωση της

συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια και αύξηση της σταθερότητας του προϊόντος με αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα.

Ακόμη, οι Bringas-Lantigua et al. (2011) μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου στην αποτελεσματικότητα του εγκλεισμού αιθέριου ελαίου μανταρινιού, χρησιμοποιώντας ως εγκλειστικό μέσο GA και MD. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η απόδοση εγκλεισμού του αιθέριου ελαίου για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου κατά την ξήρανση με ψεκασμό, οι οποίες ήταν οι 160, 180, και 200 °C. Η απόδοση εγκλεισμού υπολογίστηκε στο 90-96%, με την μεγαλύτερη να επιτυγχάνεται για θερμοκρασία εισόδου τους 200 °C και με την μικρότερη στους 160 °C. Σε επόμενη μελέτη τους για τον εγκλεισμό αιθέριου ελαίου λαϊμ (Bringas-Lantigua et al., 2012), εξετάζοντας και πάλι την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου (180–220 και 80–100 °C αντίστοιχα) στην απόδοση εγκλεισμού, κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα, δηλαδή αυξανόμενης της θερμοκρασίας εισόδου (220°C) αυξάνεται και το ποσοστό συγκράτησης (95.7 %), το οποίο μπορεί να αποδοθεί στον ταχύτερο σχηματισμό ημιπερατής μεμβράνης κατά το στάδιο της ατομοποίησης και άρα προστασία των πτητικών συστατικών. Όσον αφορά τη θερμοκρασία εξόδου προέκυψε το αντίστροφο, δηλαδή βέλτιστη θερμοκρασία εξόδου βρέθηκε να είναι οι 85 °C. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία εισόδου στον ψεκαστήρα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής απόδοσης.

Ός προς τη σχέση της θερμοκρασίας εισόδου αέρα με τη φύση των προς εγκλεισμό πτητικών ουσιών, σε μελέτη των Liu et al. (2001) παρατηρήθηκε ότι η συγκράτηση του d-λιμονένιου ήταν ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του αέρα, ενώ η αντίστοιχη του καπροϊκού αιθυλεστέρα παρουσίασε μικρή αύξηση με άνοδο της θερμοκρασίας του αέρα. Πιθανή εξήγηση της διαφορετικής ανταπόκρισης των πτητικών ουσιών αποτέλεσε η διαφορετική τους φύση.

Η επίδραση της θερμοκρασίας εξόδου στην απόδοση εγκλεισμού αρωματικών συστατικών δεν είναι ξεκάθαρη.

Για παράδειγμα, οι Reineccius and Coulter (1969) υποστήριξαν ότι η συγκράτηση των μικρών, διαλυτών πτητικών συστατικών όπως το διακετύλιο αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα, πιθανόν λόγω της σχετικά χαμηλής υγρασίας σε υψηλές θερμοκρασίες εξόδου αέρα ( με διατήρηση σταθερής θερμοκρασία εισόδου), που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού ξήρανσης. Αντίθετα, οι Bhandari et al. (1992) βρήκαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου αέρα οδηγεί σε μειωμένη συγκράτηση των πτητικών και υψηλότερη συγκέντρωση ενεργού συστατικού στην επιφάνεια. Υπέθεσαν ότι αυτό οφείλεται στο φαινόμενο του αερόστατου, το οποίο επιβεβαίωσαν παρουσιάζοντας δεδομένα σχετικά με την πυκνότητα των σωματιδίων της σκόνης η οποία σημείωσε μείωση.

Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα των Anker and Reineccius (1988) οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση του επιφανειακού ενεργού συστατικού με αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα. Ωστόσο, δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στη συγκράτηση του αιθέριου ελαίου φλοιού πορτοκαλιού όταν αυξήθηκε η θερμοκρασίας εξόδου του αέρα.

Οι Danviriyakul et al. (2002) υποστήριξαν σε έρευνά τους ότι η συγκέντρωση του επιφανειακού ενεργού συστατικού είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα.

Εξίσου σημαντική και αντικείμενο αρκετών ερευνών είναι και η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας, πρωτίστως, εισόδου στον εγκλεισμό βιοδραστικών συστατικών με

αντιοξειδωτικά δράση, καθώς εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται κατά την εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών λόγω φαινομένων οξείδωσης και να χάνουν τις πολύτιμες ιδιότητές τους. Οι θερμοκρασίες που έχουν εφαρμοστεί σε μελέτες εγκλεισμού με εφαρμογή της ξήρανσης με ψεκασμό εκχυλισμάτων ή χυμών πλούσιων σε αντιοξειδωτικά συστατικά κυμαίνονται από τους 90 έως και τους 200 °C.

Για παράδειγμα, οι Raini et al. (2015) συγκρίνοντας την απόδοση της διεργασίας εγκλεισμού φαινολικών εκχυλίσματος ελαιοπυρήνα σε μαλτοδεξτρίνη για θερμοκρασίες εισόδου 140 και 160 °C παρατήρησαν υψηλότερη συγκράτηση και αντιοξειδωτική δράση στην περίπτωση των 140 °C, καθώς στους 160 °C μεγάλο μέρος των φαινολικών υπέστη οξείδωση. Οι D. Tengse et al. (2016) παρατήρησαν επίσης μείωση της αντιοξειδωτικής δράσης και της συγκράτησης των φαινολικών, κατά τον εγκλεισμό εκχυλίσματος πράσινου τσαγιού σε μαλτοδεξτρίνη, αυξανόμενης της θερμοκρασίας εισόδου από τους 120 στους 140 °C, όπως και οι Krishnaiah et al. (2012) κατά τον εγκλεισμό εκχυλίσματος του φυτού *M. citrifolia* L. σε μαλτοδεξτρίνη για θερμοκρασίες από 90 – 140 °C.

Αντίθετα, οι Cam et al. (2014) μελετώντας τον εγκλεισμό των φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος φλούδας ροδιού σε μαλτοδεξτρίνη για ένα εύρος θερμοκρασιών εισόδου 130 – 190 °C πρότειναν ως βέλτιστη θερμοκρασία εισόδου τους 160 °C. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των Santiago – Adame et al. (2015) οι οποίοι παρατήρησαν μέγιστη αντιοξειδωτική δράση και συγκράτηση φαινολικών στην περίπτωση που στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας (εκχύλισμα κανέλλας – μαλτοδεξτρίνη) εφαρμόστηκε θερμοκρασία εισόδου ίση με 180 °C, συγκριτικά με εκείνες των 140 και 160 °C.

Σε μελέτη των Elez Garofulic et al. (2017) παρατηρήθηκε ότι στην περίπτωση χαμηλών συγκεντρώσεων φορέα εγκλεισμού η συγκράτηση των φαινολικών συστατικών μειώθηκε αισθητά όταν η θερμοκρασία εισόδου ξεπέρασε τους 150 °C. Ωστόσο, βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού επιτεύχθηκαν όταν εφαρμόστηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις μαλτοδεξτρίνης και θερμοκρασία εισόδου ίση με 200 °C.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι σε γενικές γραμμές εφαρμόζονται σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες εισόδου, κυρίως μεταξύ 120 και 160 °C, κατά τον εγκλεισμό αντιοξειδωτικών συστατικών προκειμένου να αποφευχθούν απώλειες λόγω φαινομένων οξείδωσης, χωρίς ωστόσο να αποκλείονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου καθώς η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας εξαρτάται και από παράγοντες όπως το είδος του φορέα εγκλεισμού, την συγκέντρωση αυτού αλλά και της αναλογίας του προς το ενεργό συστατικό.

Οι συνθήκες μικροεγκλεισμού μεγάλης ποικιλίας αρωματικών συστατικών και εκχυλισμάτων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά συστατικά, καθώς και τα αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών που έχουν δημοσιευθεί συνοψίζονται στον Πίνακα 3.5 και 3.6 αντίστοιχα.

**Πίνακας 3.5 :** Συνοπτική παρουσίαση των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο τον εγκλεισμό αρωματικών συστατικών μέσω ξήρανσης με ψεκασμό

Προς εγκλεισμό Συστατικό	Φορέας εγκλεισμού	Παρασκευή Γαλακτώματος	Λειτουργικές παράμετροι	Χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν - Αναλύσεις	Κύρια αποτελέσματα	Αναφορά
Αρωματικά συστατικά						
Βανιλίνη	Αραβικό κόμμα Απιοgum 688 Οξειδωμένο άμυλο καλαμποκιού και αμαράνθου	Ανάδευση (2 min)	Τύπος μηχανήματος: Buchi mini spray drier T <sub>εισόδου</sub> :160±10 για το GA, 115±10 °C για τα οξειδωμένα άμυλα T <sub>εξόδου</sub> :75±10 °C	Μορφολογικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (εμφάνιση, χρώμα) Ικανότητα συγκράτησης Απόδοση εγκλεισμού Ολικό και επιφανειακό ενεργό συστατικό	Παρατηρήθηκε ότι η απόδοση εγκλεισμού είναι υψηλότερη ( 58-60%) στην περίπτωση του οξειδωμένο αμύλου καλαμποκιού και αμαράνθου ως φορείς εγκλεισμού σε σχέση με το αραβικό κόμμα και προτείνεται η αντικατάσταση αυτού.	Chattopadhyaya et al., 1998
Βανιλίνη	Μαλτοδεξτρίνη (15-20 DE) Πρωτεΐνη σόγιας	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (2min στα 8944 g) (UltraTurax T-25), υπέρηχοι για 2 min στα 20 kHz, σε απόδοση 60%	Εργαστηριακό μηχάνημα ξηραντήρα ψεκασμού Τεισόδου : 180, 190, 200 °C	Περιεχόμενη υγρασία Απόδοση εγκλεισμού Μορφολογία και κατανομή μεγέθους σωματιδίων	Η μέγιστη απόδοση εγκλεισμού σε συνδυασμό με την ύπαρξη ελάχιστης υγρασίας επιτεύχθηκε σε συνθήκες θερμοκρασίας εισόδου 184 °C, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 8.5% και βανιλίνης 0.36%.	Noshad et al., 2015
Συνθετικό άρωμα φράουλας	Μαλτοδεξτρίνη Αραβικό κόμμα Hi-Cap Ξανθανικό κόμμα β-κυκλοδεξτρίνη	Ομογενοποιητής Ultra-turrax (500 rpm για 5 min)	Τύπος μηχανήματος: Buchi mini spray drier B-290 T <sub>εισόδου</sub> :180 °C T <sub>εξόδου</sub> :90±2 °C Ροή τροφοδοσίας: 2.5 ml/min Πίεση αέρα ξήρανσης: 5 bars	Ιδιοτήτων γαλακτώματος (σταθερότητα, πυκνότητα, ιξώδες) Απόδοση εγκλεισμού Ολικό και επιφανειακό περιεχόμενο πτητικών ουσιών Φυσικοχημικές ιδιότητες προϊόντος	Η μέγιστη απόδοση εγκλεισμού, σε συνδυασμό με τα χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας παρατηρήθηκε στο μίγμα MDs/Hi-Cap/β-CDs ακολουθούμενου από τα MDs/AG/β-CDs and MDs/X/β-CDs.	Pellicer et al., 2018
D-λιμονένιο	Αραβικό κόμμα Μαλτοδεξτρίνη HI-CAP 100 CAPSUL	Polytron PT-10 (θέση διακόπτη 8 για 3 min) Polytron PT-6100 (8000 rpm για 3 min) Ομογενοποιητής – μικρορευστοποιητής Πίεση	Τύπος μηχανήματος: Ohkawara-L8 Τεισόδου : 200 °C Τεξόδου : 100-120 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 45ml/min Ροή αέρα: 110 kg/h Ταχύτητα	Μέγεθος σωματιδίων γαλακτώματος Συγκέντρωση επιφανειακού ελαίου Μορφολογία Συγκράτηση Σταθερότητα στην οξείδωση	Παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη σταθερότητα κατά την αποθήκευση επιτυγχάνεται για σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους, ενώ για σωματίδια μικρού μεγέθους επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση	Soottitantawat et al., 2005b

		λειτουργίας: 82.8 MPa	περιστροφής εκνεφωτή: 10, 20 και 30x103 rev/min	Ρυθμός απελευθέρωσης	εγκλεισμού.	
L-μενθόλη	Τροποποιημένο άμυλο (HI-CAP 100, CAPSUL) Αραβικό κόμμι	Polytron PT-6100 (8000 rpm για 3min)	Τύπος μηχανήματος: Ohkawa-L8 Τεισόδου : 180 °C Τεξόδου : 95-105 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 45ml/min Ροή αέρα: 100 kg/h Ταχύτητα περιστροφής εκνεφωτή: 30x103 rev/min	Μέγεθος σωματιδίων γαλακτώματος Συγκράτηση Μορφολογία σκόνης Ρυθμός απελευθέρωσης	Μέγιστη απόδοση εγκλεισμού επιτυγχάνεται για υψηλή συγκέντρωση στερεών στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας και για συγκέντρωση L- μενθόλης 20% (w/w). Αν και επιτυγχάνεται υψηλότερη απόδοση στην περίπτωση του τροποποιημένου αμύλου, παρ' όλα αυτά προτείνεται η χρήση του GA λόγω υψηλότερης σταθερότητας του τελικού προϊόντος.	Soottitantawat et al.,2005a
Τερπένια πορτοκαλιού (orange terpenes)	Αραβικό κόμμι Δεξτρίνες αμύλου (καλαμποκιού, ταρίοσα) Εργαστηριακά παρασκευασμέν ο άμυλο octenylsuccinate χαμηλού ιξώδους	Ανάδευση (Waring blender) για 2 min	Εργαστηριακό μηχάνημα ξηραντήρα ψεκασμού Τεισόδου : 200 °C Τεξόδου : 90 °C	Μέγεθος σωματιδίων γαλακτώματος Σταθερότητα γαλακτώματος Σταθερότητα στην οξειδωση Συγκράτηση Συγκέντρωση επιφανειακού ενεργού συστατικού	Το εργαστηριακά παρασκευασμένο άμυλο παρουσιάζει τις καλύτερες ιδιότητες εγκλεισμού, δηλαδή υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού, χαμηλότερα επίπεδα του συστατικού στην επιφάνεια και άρα καλύτερη προστασία στην οξειδωση.	Trubiano and Lacourse, 1988
D-λιμονένιο Βουτυρικός αιθυλεστέρας	Αραβικό κόμμι Μαλτοδεξτρίνη (18 DE) Διαλυτός πολυσακχαρίτης σόγιας (SSPS) Sucrose aceto isobutyrate (SAIB) Τριγλυκερίδια μέσης αλυσίδας (MCT)	Polytron PT-10 (θέση διακόπτη 5 για 3 min) Μικρορευστοποι ητής (82.8 MPa)	Τύπος μηχανήματος: Okawaga-L8 Τεισόδου : 150 °C Τεξόδου : 74-104 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 45ml/min Ροή αέρα: 110 kg/h Ταχύτητα περιστροφής εκνεφωτή: 30000 rev/min	Μέγεθος σωματιδίων γαλακτώματος Σταθερότητα και πυκνότητα γαλακτώματος Συγκράτηση	Παρατηρήθηκε ότι η απόδοση εγκλεισμού του D-limonene ήταν πολύ υψηλή ανεξαρτήτως της σύνθεσης του γαλακτώματος τροφοδοσίας, σε αντίθεση με το ethyl butyrate για το οποίο προτείνεται η χρήση μίγματος GA και SSPS με προσθήκη ζελατίνης για μέγιστη απόδοση εγκλεισμού.	Liu et al., 2001
Αρωματική ουσία						
Swiss cheese bioaroma	Μαλτοδεξτρίνη (20 DE) Τροποποιημένο άμυλο καλαμποκιού (Capsul)	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (3500 rpm για 5 min, Ultra-Turrax IKA T18 basic)	Τύπος μηχανήματος: Labmaq, model MSD 1.0 bench-top spray dryer Τεισόδου : 170-180	Ρεολογικά χαρακτηριστικά γαλακτώματος Συγκράτηση οργανικών οξέων	Η υψηλότερη ανάκτηση οργανικών οξέων, σε συνδυασμό με τα χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας και ενεργότητας νερού	Gomes da Costa et al., 2015

			°C Ρυθμός τροφοδοσίας: $2.97 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ Ροή αέρα: 0.58 L/s Πίεση αέρα ξηρανσης: 5 bar	Ενεργότητα νερού Περιεχόμενη υγρασία Μέγεθος σωματιδίων	επιτεύχθηκε για συγκέντρωση τροποποιημένου άμυλου ίση με 50 % (w/v).	
Liquid cheese aroma	Μαλτοδεξτρίνη (12 DE) Άμυλο octenyl succinate	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (25000 rpm για 10 min, Ultra- Turrax T-25) Υπέρηχοι 20 kHz, 600 W για 5-20 min	Τύπος μηχανήματος: APV Anhydro Laboratory spraydryer Τεισόδου : 175 °C Τεξόδου : 90 °C	Προφίλ αρωματικών συστατικών Μέγεθος σωματιδίων Ιξώδες γαλακτώματος Ανάκτηση λιπαρών οξέων Περιεχόμενη υγρασία Απόδοση εγκλεισμού Συγκέντρωση επιφανειακού ενεργού συστατικού	Η χρήση υπερήχων (αντί του ομογενοποιητή ultra- turrax) στο στάδιο γαλακτωματοποίησης έδωσε υψηλότερα ποσοστά απόδοσης εγκλεισμού και για τους δύο φορείς εγκλεισμού.	Mongenot et al., 2000
Αιθέρια έλαια						
Αιθέριο έλαιο μέντας ( <i>Mentha piperita</i> ) και elemi ( <i>Cannarium commune</i> )	Μαλτοδεξτρίνη (16 DE) Tween 80	UP200S ομογενοποιητής υπερήχων	Τύπος μηχανήματος: SR 16 spray dryer (METALCHEM) Τεισόδου : 150 °C Τεξόδου : 80 °C	Χημική σύσταση αιθέριων ελαίων Περιεχόμενη υγρασία Ενεργότητα νερού Μέγεθος σωματιδίων Ολικό και επιφανειακό έλαιο Συγκράτηση	Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι υψηλότερη όταν τα σημεία βρασμού των ενθυλακωμένων ουσιών είναι υψηλότερα. Ο εγκλεισμός ουσιών με χαμηλά σημεία βρασμού απαιτεί έναν πιο ακριβή προσδιορισμό των συνθηκών διεργασίας, ιδίως στο στάδιο παρασκευής του γαλακτώματος.	Adamiec and Kalemba, 2006
Αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου ( <i>R. officinalis leaf oil</i> )	Αραβικό κόμμι Μαλτοδεξτρίνη (10 DE) Τροποποιημένο άμυλο (Capsul) Ινουλίνη (βαθμός πολυμερισμού >23)	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (Ultra-turrax IKA T18 Basic, 3500 rpm για 10 min)	Τύπος μηχανήματος: Labmaq, model MSD 1.0 Τεισόδου : 170 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 0.9 L/h	Σύσταση αιθέριου ελαίου Ρεολογικά χαρακτηριστικά γαλακτώματος Απόδοση εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Μορφολογία και κατανομή μεγέθους σωματιδίων σκόνης Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης ( $T_g$ )	Η ολική αντικατάσταση του αραβικού κόμμιος με τροποποιημένο άμυλο ή μείγμα τροποποιημένου αμύλου και μαλταδεξτρίνης (1: 1) δεν επηρέασε σημαντικά την απόδοση εγκλεισμού, αν και υψηλότερες τιμές $T_g$ εμφανίστηκαν από μικροκάψουλες που παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας αποκλειστικά αραβικό κόμμι ή αραβικό κόμμι σε συνδυασμό με ινουλίνη.	Fernandes et al., 2014



Έλαιο καφέ	Αραβικό κόμμα	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (Ultra-turrax IKA T18 Basic, 14,000 rpm για 5 min)	Τύπος μηχανήματος: Labmag, model MSD 1.0 bench-top spray dryer Τεισόδου : 150-190 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 0.8 L/h Ροή αέρα: 36 m <sup>3</sup> /h Πίεση αέρα ξήρανσης: 5 bar	Ρεολογικά χαρακτηριστικά, σταθερότητα γαλακτώματος Απόδοση εγκλεισμού Αποτελεσματικότητα εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Μορφολογία και μέγεθος σωματιδίων Σταθερότητα κατά τη αποθήκευση	Αυξανόμενη της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού και της θερμοκρασίας εισόδου παρατηρήθηκε μείωση τόσο στην απόδοση όσο και στην αποτελεσματικότητα εγκλεισμού, αντίθετη επίδραση είχε η αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών στο γαλάκτωμα. Έτσι οι ερευνητές κατέληξαν σε βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκέντρωση αραβικού κόμματος ίση με 30% (w/v), 15 % (w/w) ενεργού συστατικού και θερμοκρασία εισόδου 170 °C.	Frascareli et al., 2012
Green coffee oil	Τροποποιημένο άμυλο (Hi-Cap, Capsul, N-Lok) Αραβικό κόμμα Μαλτοδεξτρίνη	Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας (Ultra-turrax MA , 16,000 rpm για 5 min) Ομογενοποιητής υψηλής πίεσης (Panda 2KNS1001L, Niro Inc., Hudson, USA), στα 50 MPa στο πρώτο στάδιο και 5 MPa στο δεύτερο.	Τύπος μηχανήματος: SD-06 Τεισόδου : 170 °C Τεξόδου : 80-89 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 11.6 ml/min Ροή αέρα: 300 m <sup>3</sup> /h	Ρεολογικά χαρακτηριστικά Σταθερότητα γαλακτώματος Απόδοση εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Μορφολογία και μέγεθος σωματιδίων Σταθερότητα κατά τη αποθήκευση	Τα υψηλότερα ποσοστά απόδοσης εγκλεισμού παρατηρήθηκαν στην περίπτωση εφαρμογής του μίγματος των φορέων Hi-Cap / MD (75:25).	Silva et al., 2014
Αιθέριο έλαιο φλοιού Πορτοκαλιού	Μαλτοδεξτρίνη (10 DE) Mesquite gum	Αναμίκτης υψηλής διάτμησης (θέση διακόπτη 10 για 5 min)	Τύπος μηχανήματος: Büchi 190 Mini Spray Drier Τεισόδου : 195-205 °C Τεξόδου : 105-115 °C	Συγκέντρωση ολικού και επιφανειακού ενεργού συστατικού Απόδοση εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Οργανοληπτική αξιολόγηση	Το δείγμα με την αναλογία 3: 2 μαλτοδεξτρίνη : mesquite gum ήταν αυτό για το οποίο επιτεύχθηκε η υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού.	Beristain et al., 1999
Αιθέριο έλαιο κύμινου ( <i>Carum carvi</i> L.)	Πρωτεϊνικό υπερσυμπύκνωμα ορού γάλακτος (WPC) Σκόνη άπαχου γάλακτος (SMP) Κηρώδες άμυλο αραβοσίτου Μαλτοδεξτρίνη Τροποποιημένο	Ομογενοποιητής Ultra Turrax IKA 25 (20.000 rpm για 5 min)	Τύπος μηχανήματος: Büchi 190 Mini Spray Dryer P : 750–800 mm Hg Τεισόδου : 175-185 °C Τεξόδου : 85-95 °C	Συγκέντρωση ολικού και επιφανειακού ενεργού συστατικού Απόδοση εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Μορφολογία	Συγκρίνοντας τους δύο φορείς, SMP και WPC, οι ερευνητές κατέληξαν ότι ο δεύτερος παρουσιάζει καλύτερες ιδιότητες ως εγκλειστικό μέσο. Η υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού παρατηρήθηκε στην	Bylaite et al., 2001

	άμυλο			σκόνης Μελέτη ρυθμού απελευθέρωσης Μελέτη σταθερότητας κατά την αποθήκευση	περίπτωση μίγματος WPC με μαλτοδεξτρίνη.	
Αιθέριο έλαιο πορτοκαλιού	Αραβικό κόμμα Απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας (SPI) Μαλτοδεξτρίνη Σουκρόζη	Υπέρηχοι 10 min (SPI) Ομογενοποίηση (6000 rpm για 5min) Συσσωμάτωση	Τύπος μηχανήματος: SD-1000, EYELA, Japan T <sub>εισόδου</sub> :160 °C T <sub>εξόδου</sub> :90°C Ροή τροφοδοσίας: 320 ml/h Ροή αέρα: 0.72 m <sup>3</sup> /min Πίεση αέρα ξήρανσης: 12 MPa	Προφίλ συστατικών ενεργού συστατικού Απόδοση συσσωμάτωσης Απόδοση εγκλεισμού Μορφολογία σωματιδίων	Η υψηλότερη απόδοση επιτεύχθηκε στην περίπτωση του μίγματος SPI : GA με αναλογία 1: 1 και συγκέντρωση ενεργού συστατικού ίση με 10% (w/w).	Jun-xia et al., 2011
Αιθέριο έλαιο μανταρινιού (mandarin oil)	Αραβικό κόμμα Μαλτοδεξτρίνη (20 DE)	Ομογενοποιητής υψηλής πίεσης (10-50 MPa)	Τύπος μηχανήματος: Niro Production Minor Model T <sub>εισόδου</sub> :160,180,200 °C T <sub>εξόδου</sub> :80,90,100 °C Ροή τροφοδοσίας: 75-170 ml/min	Περιεχόμενη υγρασία Συγκέντρωση ολικού και επιφανειακού ενεργού συστατικού Απόδοση εγκλεισμού Κατανομή μεγέθους σωματιδίων γαλακτώματος και σκόνης	Προτείνεται ως βέλτιστη η θερμοκρασία εισόδου των 200 °C και εξόδου των 80 °C, καθώς σε αυτές τις συνθήκες παρατηρήθηκε ο γρηγορότερος ρυθμός εξάτμισης, αυξημένη συγκράτηση των πτητικών συστατικών και η καλύτερη απόδοση εγκλεισμού.	Bringas- Lantigua et al., 2011
Αιθέριο έλαιο λεμονιού (Backhousia citriodora)	Τροποποιημένο άμυλο (Hi-Cap 100) Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (WPC) Μαλτοδεξτρίνη (17 DE )	Μικρορευστο- ποιητής (model M-110L, Microfluidics Corporation, Newton, MA) στα 40MPa για έναν κύκλο λειτουργίας	Τύπος μηχανήματος: Saurin SL-20 pilot Τεισόδου : 180 °C Τεξόδου : 60,65,70 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 3 kg/h Ταχύτητα περιστροφής εκνεφωτή: 3700 rpm Πίεση αέρα ξήρανσης: 300 kPa	Κατανομή μεγέθους σωματιδίων γαλακτώματος Σταθερότητα γαλακτώματος Συγκράτηση Συγκέντρωση επιφανειακού ενεργού συστατικού	Ανεξαρτήτως του φορέα εγκλεισμού, οι βέλτιστες συνθήκες συγκέντρωσης στερεών, ενεργού συστατικού, και η θερμοκρασία εξόδου ήταν 40 % (w/w), 18 %, και 65 °C , αντίστοιχα. Ακόμη, οι ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι με μείωση της διαμέτρου των σωματιδίων στο γαλάκτωμα παρατηρείται σημαντική αύξηση στη συγκράτηση του αιθέριου ελαίου.	Huynh et al., 2008
Αιθέριο έλαιο κάρδαμου ( <i>Elettaria cardamomum</i> )	Mesquite gum	Αναμίκτης υψηλής διάτμησης (5000 rpm για 15 min)	Τύπος μηχανήματος: Büchi 190 Mini Spray Dryer Τεισόδου : 200 °C Τεξόδου : 110 °C	Σταθερότητα και μέγεθος γαλακτώματος Απόδοση και Αποτελεσματικό τητα εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία	Υψηλή απόδοση εγκλεισμού (83,6 %) επιτεύχθηκε για συγκέντρωση ενεργού συστατικού ίση με 20 % (w/w).	Beristain et al., 2001

**Πίνακας 3.6 :** Συνοπτική παρουσίαση των μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο τον εγκλεισμό αντιοξειδωτικών συστατικών μέσω ξήρανσης με ψεκασμό

Προέλευση	Αντιοξειδωτικά συστατικά	Φορείς εγκλεισμού	Λειτουργικές παράμετροι	Χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν	Κύρια αποτελέσματα	Αναφορά
Εκχύλισμα δεντρολίβανου ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) και ρίγανης ( <i>Origanum vulgare</i> )	Φαινολικά Φλαβονοειδή	Μαλτοδεξτρίνη (10 DE)	Τύπος μηχανήματος: Niro Mobile Minor atomizer Τεισόδου : 120, 145 °C Τεξόδου > 30 °C	Ρεολογικά χαρακτηριστικά σκόνης Ολικό περιεχόμενο φαινολικών και φλαβονοειδών στο τελικό προϊόν (TPC, TFC) Αντιβακτηριδιακή δράση του προϊόντος	Χαμηλότερη συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης (10 % συγκριτικά με 15 % w/w) και θερμοκρασία εισόδου (120°C) έδωσαν υψηλότερες συγκεντρώσεις φαινολικών και φλαβονοειδών στο τελικό προϊόν.	Bunghetz et al., 2015
Εκχύλισμα <i>Morinda citrifolia</i> L.	Φαινολικά Φλαβονοειδή	Μαλτοδεξτρίνη κ-καραγεννάνη	Τύπος μηχανήματος: SD-05 Τεισόδου : 90-140 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 315 ml/h Ροή αέρα: 60 m <sup>3</sup> /h Πίεση αέρα ξήρανσης: 1.1 bar	Απόδοση εγκλεισμού Μέγεθος σωματιδίων Περιεχόμενη υγρασία Αντιοξειδωτική δράση (DPPH activity) Ολικό περιεχόμενο φαινολικών και φλαβονοειδών στο τελικό προϊόν (TPC, TFC)	Το εγκλεισμένο προϊόν παρουσίασε τα υψηλότερα ποσοστά αντιοξειδωτικής δράσης (28.36% DPPH activity) στην περίπτωση της αναλογίας 1:2 (ενεργό συστατικό.: εγκλειστικό μέσο), για θερμοκρασία εισόδου 90 °C και εφαρμόζοντας ως εγκλειστικό μαλτοδεξτρίνη με συγκέντρωση 33 mg/ml.	Krishnaiah et al., 2011
Εκχύλισμα ελαιοπυρήνα	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη (16.5-19.5 DE)	Τύπος μηχανήματος: SD-04 Τεισόδου :130, 160 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 5, 10 ml/min Ροή αέρα: 30 m <sup>3</sup> /h	Απόδοση εγκλεισμού Αποτελεσματικότητα εγκλεισμού Αντιοξειδωτική δράση (DPPH activity) Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TPC) Φυσικοχημικές ιδιότητες προϊόντος Σταθερότητα κατά την αποθήκευση	Τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση εγκλεισμού (94 %), την αποτελεσματικότητα εγκλεισμού (76 %), το περιεχόμενο σε φαινολικά (39.5 mg/g προϊόντος) και την αντιοξειδωτική δράση (33.8 mmolDPPH/Lextract) επιτεύχθηκε για τους 130 °C, για συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης ίση με 100 g/L και για ρυθμό τροφοδοσίας 10 ml/min.	Paini et al., 2015
Εκχύλισμα φλούδας ροδιού	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη (14-17, 18-20, 13-17, 16.5-	Τύπος μηχανήματος: Buchi-B290	Απόδοση και αποτελεσματικότητα εγκλεισμού	Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για	Cam et al., 2014

		19.5 DE)	Τεισόδου : 130-190 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 8 ml/min Ροή αέρα: 600 L/h	Αντιοξειδωτική δράση (DPPH activity) Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TPC) Φυσικοχημικές ιδιότητες τελικού προϊόντος Σταθερότητα κατά την αποθήκευση	Θερμοκρασία 160 °C και για αναλογία εγκλειστικού : ενεργό συστατικό ίση με 1:1 ή 3:1 (w/w). Δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών ειδών μαλτοδεξτρίνης.	
Χυμός acai (Euterpe oleracea Mart.)	Ανθοκυανίνη	Μαλτοδεξτρίνη (10, 20 DE) Αραβικό κόμμα Άμυλο ταπιόκας	Τύπος μηχανήματος: LabPlant SD-05 Τεισόδου : 140 °C Τεξόδου: 80 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 15 g/min Ροή αέρα: 73 m <sup>3</sup> /h Πίεση αέρα: 0.06 MPa	Μελέτη φυσικοχημικών ιδιοτήτων σκόνης Ολικό περιεχόμενο ανθοκυανινών Αντιοξειδωτική δράση Σταθερότητα κατά την αποθήκευση	Η χρήση της μαλτοδεξτρίνης με 10 DE έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς το περιεχόμενο ανθοκυανίνης και αντιοξειδωτικής δράσης καθώς και τον υψηλότερο χρόνο ημιζωής (t <sub>1/2</sub> ), ενώ ακολούθησε το αραβικό κόμμα.	Tonon et al., 2010
Κανέλα (Cinnamomum zeylanicum infusion)	Φαινολικά Φλαβονοειδή	Μαλτοδεξτρίνη (10 DE)	Τύπος μηχανήματος: Mini Spray Dryer B-290 Büchi Τεισόδου : 140, 160, 180 °C Τεξόδου: 80 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 8, 10 ml/min Πίεση αέρα: 6.5 bar	Αντιοξειδωτική δράση (DPPH activity) Ολικό περιεχόμενο φαινολικών και φλαβονοειδών στο τελικό προϊόν (TPC, TFC) Απόδοση εγκλεισμού Περιεχόμενη υγρασία Μέγεθος και μορφολογία σωματιδίων Ρεολογικά χαρακτηριστικά προϊόντος	Η υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση, απόδοση εγκλεισμού και ολικό περιεχόμενο σε φαινολικά πραγματοποιήθηκε στους 180 °C και για ρυθμό τροφοδοσίας ίσο με 10 ml/min, ενώ το ολικό περιεχόμενο φλαβονοειδών παρουσίασε μέγιστες τιμές στους 140 °C, για τον ίδιο ρυθμό τροφοδοσίας.	Santiago-Adame et al., 2015
Εκχύλισμα πράσινου τσαγιού (Camellia sinensis)	Κατεχίνες	Μαλτοδεξτρίνη β-κυκλοδεξτρίνη	Εργαστηριακός ξηραντήρας ψεκασμού Τεισόδου : 120 °C Τεξόδου: 60 °C Πίεση αέρα: 165.47 KPa	Περιεχόμενη υγρασία Μορφολογία και μέγεθος σωματιδίων Ολικό περιεχόμενο κατεχινών Απόδοση εγκλεισμού Αντιοξειδωτική δράση	Η μαλτοδεξτρίνη αποτελεί καλύτερο φορέα εγκλεισμού σε σχέση με την κυκλοδεξτρίνη επιτυγχάνοντας απόδοση εγκλεισμού της τάξης του 40-69% και υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση, ενώ στην περίπτωση συνδιασμού των δυο εγκλειστικών δίνονται τα χαμηλότερα αποτελέσματα.	Pasrija et al., 2015

Εκχύλισμα πράσινου τσαγιού (Camellia sinensis)	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη	Εργαστηριακός ξηραντήρας ψεκασμού Τεισόδου : 120, 130, 140 °C Τεξόδου: 97 °C	Περιεχόμενη υγρασία Αντιοξειδωτική δράση Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TPC)	Οι ερευνητές κατέληξαν σε βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού (120 °C, περιεκτικότητα ενεργού συστατικού 25% (w/w) και αναλογία ενεργού συστατικού: εγκλειστικό ίση με 1:2) για τις οποίες επιτεύχθηκαν οι υψηλότερες τιμές αντιοξειδωτικής δράσης ( 72.91 %, με εφαρμογή της μεθόδου DPPH) , ολικών περιεχόμενων φαινολικών και η χαμηλότερη περιεχόμενη υγρασία (3.1 % w.b.).	Tengse et al., 2016
Red grape (Vitis vinifera L.) pomace	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη Καρβοξυμεθυλ-κυτταρίνη (CMC)	Τύπος μηχανήματος: JCM Best Technology Τεισόδου : 140 °C Τεξόδου: 80 °C	Φυσικοχημικές ιδιότητες προϊόντος (απόδοση εκχύλισης, διαλυτοτητα, υγρασία) Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TPC) Περιεχόμενο ανθοκυανίνης (TA) Περιεχόμενο τανίνης (TN)	Αυξανόμενη της περιεκτικότητας σε μαλτοδεξτρίνη παρατηρήθηκε μείωση των φαινολικών συστατικών στο τελικό προϊόν ενώ η περιεκτικότητα σε καρβοξυμεθυλ-κυτταρίνη δεν φάνηκε να τα επηρεάζει. Οι ερευνητές κατέληξαν σε βέλτιστες συνθήκες εγκλεισμού των φαινολικών οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης ίση με 10.10 % w/v και 0.21 % w/v CMC.	Boonchu and Utama-ang, 2013
Χυμός βύσσινου (Prunus cerasus var. Marasca)	Φαινολικά οξέα Φλαβονοειδή (flavonol glycosides) Ανθοκυανίνη	Μαλτοδεξτρίνη ( 4-7, 13-17 DE) Αραβικό κόμμα	Τύπος μηχανήματος: Labplant, SD 06 Τεισόδου : 150, 175, 200 °C Τεξόδου: 78-80, 87-90, 99-102 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 485 ml/h Ροή αέρα: 3.5 m <sup>3</sup> /s	Ολικό περιεχόμενο φαινολικών συστατικών στο τελικό προϊόν	Η μαλτοδεξτρίνη με DE 13-17, σε αναλογία εγκλειστικού : χυμό ίση με 3:1 αποδείχθηκε ότι ήταν ο καταλληλότερος φορέας εγκλεισμού, για θερμοκρασία εισόδου ίση με 200 °C, για τον εγκλεισμό των φαινολικών οξέων και της ανθοκυανίνης ( 93.3	Elez Garofulic et al., 2017

					και 88.7 % αντίστοιχα ) , ενώ για τον εγκλεισμό των γλυκοζιτών (84 %) αποδείχθηκε αποτελεσματικότερο το αραβικό κόμμα σε αναλογία 2:1 και για θερμοκρασία εισόδου ίση με 180 °C	
Εκχύλισμα καφέ (spent coffee ground extracts)	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη (16.5-19.5 DE) Ινουλίνη	Τύπος μηχανήματος: Mini Spray Dryer B-290 Büchi Τεισόδου : 160 °C Ρυθμός τροφοδοσίας: 5-10 ml/min Ροή αέρα: 30 m <sup>3</sup> /h	Περιεχόμενη υγρασία Απόδοση εγκλεισμού Αποτελεσματικότητα εγκλεισμού Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TP)	Η παρουσία ινουλίνης αύξησε την απόδοση εγκλεισμού των αντιοξειδωτικών, ενώ ο ρυθμός ροής φάνηκε να επηρεάζει λιγότερο τη διεργασία. Η μέγιστη απόδοση εγκλεισμού (63 %) επιτεύχθηκε για την αναλογία ινουλίνης : μαλτοδεξτρίνη ίση με 8:2 και για ρυθμό τροφοδοσίας ίσο με 7.5 ml / min	Pettinato et al., 2017
Εκχύλισμα <i>Ilex paraguariensis</i>	Φαινολικά	Μαλτοδεξτρίνη (16.5-19.5 DE)	Τύπος μηχανήματος: Mini Spray Dryer B-290 Büchi Τεισόδου : 150 ±5 °C Τεξόδου: 50 ±5 °C Ροή αέρα: 35 m <sup>3</sup> /h Ρυθμός τροφοδοσίας: 6 ml/min Πίεση αέρα: 0.7 MPa	Φυσικοχημικές ιδιότητες προϊόντος (διαλυτοτητα, υγρασία, ενεργότητα νερού, μορφολογία, μέγεθος σωματιδίων) Αντιοξειδωτική δράση Ολικό περιεχόμενο φαινολικών (TPC) Απόδοση εγκλεισμού	Η υψηλότερη απόδοση εγκλεισμού και το υψηλότερο περιεχόμενο σε φαινολικά (96.72 και 87.53 % αντίστοιχα) επιτεύχθηκε για συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης ίση με 20 % (w/v), ενώ σε αυτή την συγκέντρωση παρατηρήθηκε και η μέγιστη σταθερότητα προϊόντος	Nunes et al., 2015

## 4. Πειραματικό Μέρος – Υλικά και Μέθοδοι

### 4.1 Σχεδιασμός Πειραμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό στο μικροεγκλεισμό αρωματικών και φαινολικών συστατικών σε φορείς εγκλεισμού που ανήκουν στους πολυσακχαρίτες. Στόχος αυτής της εργασίας είναι η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών (σύσταση γαλακτώματος τροφοδοσίας, μέθοδος ομογενοποίησης, θερμοκρασία εισόδου και εξόδου) προς παραγωγή προϊόντων υψηλής απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού του επιλεγμένου ενεργού συστατικού με στόχο την προστασία του από φαινόμενα οξειδωσης, επέκταση του χρόνου ζωής τους (shelf life), αλλά και από τυχόν ανεπιθύμητες αντιδράσεις με άλλα συστατικά του τροφίμου, καθώς και την εύκολη περαιτέρω ενσωμάτωσή του σε συστήματα τροφίμων. Δηλαδή, σκοπός είναι η παραγωγή λειτουργικών προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Με βάση τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, καθορίστηκαν οι βασικοί άξονες της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα κατάλληλα υλικά εγκλεισμού, οι λειτουργικές παράμετροι της ξήρανσης με ψεκασμό (βέλτιστες συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας), καθώς και οι αναλυτικές μέθοδοι.

Ο σχεδιασμός των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης συγκεκριμένων παραμέτρων της διεργασίας εγκλεισμού με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό. Πιο αναλυτικά, οι παράμετροι που εξετάστηκαν, όσον αφορά το γαλάκτωμα τροφοδοσίας, αρχικά ήταν η αναλογία των φορέων εγκλεισμού, δηλαδή της μαλτοδεξτρίνης προς το αραβικό κόμμι, ακολούθησε η μελέτη του παράγοντα της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού, στη συνέχεια η προσθήκη γαλακτωματοποιητή Tween 20 και τέλος η μέθοδος ομογενοποίησης, με τις δύο τελευταίες παραμέτρους να εξετάζονται μόνο στην περίπτωση μικροεγκλεισμού του αρώματος κεράσι. Ακόμη, με την ολοκλήρωση του σταδίου παραγωγής του γαλακτώματος τροφοδοσίας, εξετάστηκαν λειτουργικές παράμετροι της διεργασίας ξήρανσης με ψεκασμό και συγκεκριμένα η θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης. Για κάθε εξεταζόμενη παράμετρο όλες οι υπόλοιπες διατηρήθηκαν σταθερές. Προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της κάθε παραμέτρου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και αναλύσεις για τον προσδιορισμό του φαινομένου ιξώδους του γαλακτώματος τροφοδοσίας, στην περίπτωση μικροεγκλεισμού του αρώματος κεράσι, της απόδοσης μικροεγκλεισμού, της συγκέντρωσης των συστατικών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος, της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όπως επίσης και της περιεχόμενης υγρασίας του τελικού προϊόντος μικροεγκλεισμού και των δύο κατηγοριών συστατικών.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε να εξεταστούν οι συγκεκριμένες παράμετροι ήταν ότι η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών σε κάθε μια από αυτές αποτελεί μια ιδιαίτερα απαιτητική και σημαντική διαδικασία καθώς λειτουργεί καθοριστικά για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού, γεγονός που έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό τον μικροεγκλεισμό αρωματικών και αντιοξειδωτικών συστατικών.

Οι μέθοδοι καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται αναλυτικά ακολούθως.

## 4.2 Υλικά

### 4.2.1 Υλικά προς εγκλεισμό

Τα προς εγκλεισμό υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής: άρωμα κεράσι, το οποίο προσφέρθηκε από τη ΒΙΟΡΥΛ Α.Ε, υδατικό εκχύλισμα δενδρολίβανου και εκχύλισμα δενδρολίβανου με μίγμα ακετόνης και νερού (80 % Acetone, 20 % H<sub>2</sub>O), τα οποία παρασκευάστηκαν σε συνεργασία με παράλληλη διπλωματική εργασία του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας τροφίμων.

#### *Υδατικό εκχύλισμα δενδρολίβανου μεγαλύτερης κλίμακας*

Τα υδατοδιαλυτά συστατικά του δενδρολίβανου παραλήφθηκαν από απειλωμένα φύλλα του φυτού τα οποία μετά την απόσταξη υπέστησαν ξήρανση για 12 h σε φούρνο κυκλοφορίας αέρα σε θερμοκρασία 40 °C. Ακολούθησε άλεση των ξηρών φύλλων και 2 kg του υλικού τοποθετήθηκαν σε εκχυλιστήρα σταθερής κλίνης. Προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης διαβροχή του υλικού διαβιβάστηκαν 2.5 L νερού σε θερμοκρασία 95 °C. Το σύστημα αφέθηκε σε επαφή για 1 h ώστε να επιτευχθεί μέγιστη δυνατή διόγκωση των κόκκων και στη συνέχεια διαβιβάστηκε νερό ομοίως σε θερμοκρασία 95 °C.

#### *Υδατικό εκχύλισμα δενδρολίβανου πειραματικής κλίμακας*

Για την παρασκευή του υδατικού εκχυλίσματος πραγματοποιήθηκε άλεση ορισμένης ποσότητας αποξηραμένου δενδρολίβανου (20 g) και στη συνέχεια έγινε εκχύλιση σε σταθερή κλίνη ημιδιαλείποντος έργου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η τροφοδοσία του διαλύτη (νερό) πραγματοποιήθηκε με χρήση περισταλτικής αντλίας.

#### *Εκχύλισμα δενδρολίβανου με μίγμα ακετόνης : νερού*

Για την παρασκευή του εκχυλίσματος πραγματοποιήθηκε άλεση ορισμένης ποσότητας δενδρολίβανου (10 g) η οποία αναμίχθηκε με μίγμα διαλύτη ακετόνης : νερού (4:1) και ορθοφωσφορικού οξέος (0.1 % της ακετόνης). Στη συνέχεια, το αιώρημα τοποθετήθηκε σε λουτρό υπερήχων (40 kHz) όπου παρέμεινε για 60 λεπτά, διατηρώντας τη θερμοκρασία σταθερά χαμηλότερη του σημείου βρασμού της ακετόνης (T < 57 °C). Τέλος, εφαρμόστηκε διήθηση υπο κενό και παραλαβή του εκχυλίσματος.

### 4.2.2 Φορείς εγκλεισμού

Ως προς τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως φορείς εγκλεισμού, αυτά ήταν τα εξής: μαλτοδεξτρίνη (Astron Chemicals SA, maltodextrin, MD, 18-20DE) και αραβικό κόμμι (Nexira Food France, Arabic gum, GA) τα οποία προσφέρθηκαν επίσης από τη ΒΙΟΡΥΛ Α.Ε.. Επιπλέον, ο γαλακτωματοποιητής Tween® 20 προμηθεύτηκε από τη Fisher Scientific.

## 4.3 Πειραματική Διαδικασία

### 4.3.1 Παραγωγή προϊόντων μικροεγκλεισμού

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δύο στάδια:

1. Την παραγωγή γαλακτώματος



2. Την ξήρανση με ψεκάσμο προς παραγωγή σκόνης ενθυλακωμένου ενεργού συστατικού

#### 4.3.1.1 Παραγωγή γαλακτώματος

##### *Μικροεγκλεισμός αρώματος κεράσι*

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τέσσερις διαφορετικές αναλογίες φορέων εγκλεισμού, δηλαδή μαλτοδεξτρίνης (MD) προς αραβικό κόμμα (GA) και αυτές ήταν MD:GA: 1:0, 1:1, 2:1 και 3:1. Η συνολική ποσότητα στερεών στο γαλάκτωμα διατηρήθηκε σταθερή σε όλα τα πειράματα και ήταν της τάξης του 30% (g στερεών/ 100 g γαλακτώματος). Όσον αφορά την περιεκτικότητα του γαλακτώματος σε ενεργό συστατικό, δηλαδή σε flavor, μελετήθηκαν δύο διαφορετικές περιεκτικότητες της τάξεως του 10 και 20 % των συνολικών στερεών (g ενεργού συστατικού/100 g στερεών στο γαλάκτωμα). Τέλος εξετάστηκε η προσθήκη γαλακτωματοποιητή Tween 20 και η εφραμογή διαφορετικών μεθόδων ομογενοποίησης.

Πιο αναλυτικά, ορισμένη ποσότητα αραβικού κόμματος προστέθηκε σε απεσταγμένο νερό, σε θερμοκρασία 50 °C, υπό συνεχή ανάδευση και αφού επιτεύχθηκε πλήρης διάλυση αυτού (20-25 min), προστέθηκε η ανάλογη ποσότητα μαλτοδεξτρίνης και η ανάδευση συνεχίστηκε διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία έως το σημείο που δημιουργήθηκε διαυγές διάλυμα. Στη συνέχεια, το διάλυμα παρέμεινε σε ψύξη (7 °C) κατά τη διάρκεια της νύχτας, ώστε να διασφαλιστεί η πλήρης ενυδάτωση των μορίων. Αφού το διάλυμα των φορέων εγκλεισμού θερμάνθηκε προκειμένου να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 °C) και σε μερικές περιπτώσεις, σε συνθήκες κεντρικού πειράματος, ενισχύθηκε με γαλακτωματοποιητή (Tween 20) σε συγκέντρωση 0.5 % των συνολικών στερεών του γαλακτώματος, ακολούθησε προσθήκη της επιθυμητής ποσότητας flavor και γαλακτωματοποίηση του διαλύματος. Η γαλακτωματοποίηση πραγματοποιήθηκε είτε με χρήση ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (UnidriveX 1000, CAT) σε δύο στάδια, για 10 min στις 15000 rpm το καθένα (O), με την μέθοδο αυτή να επιλέγεται ως συνθήκη κεντρικού πειράματος, είτε με διαίρεση του μίγματος σε δύο ίσες ποσότητες και ομογενοποίηση και πάλι με χρήση ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (UnidriveX 1000, CAT) σε δύο στάδια, για 10 min στις 15000 rpm το καθένα, χρησιμοποιώντας ωστόσο αυτή τη φορά το μικρότερο στέλεχος του ομογενοποιητή, είτε, τέλος, με χρήση ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (UnidriveX 1000, CAT), για 10 min σε συνδυασμό με χρήση υπερήχων (VCX 400, SONICS & MATERIALS INC.), για 12 min στο 35% της απόδοσης. Οι δύο τελευταίες μέθοδοι γαλακτωματοποίησης εφαρμόστηκαν σε συνθήκες κεντρικού πειράματος. Τελικά, όλα τα γαλακτώματα οδηγήθηκαν προς ξήρανση με ψεκάσμο διατηρώντας την θερμοκρασία τους στους 50 °C καθ' όλη τη διάρκεια της διεργασίας.

##### *Μικροεγκλεισμός εκχυλισμάτων δενδρολίβανου*

Στην περίπτωση μικροεγκλεισμού των εκχυλισμάτων δενδρολίβανου μελετήθηκε η εφαρμογή μαλτοδεξτρίνης και μίγματος μαλτοδεξτρίνης και αραβικού κόμματος σε αναλογία 2:1 στο υδατικό εκχύλισμα και 4:1 στο ακετονικό, καθώς και η προσθήκη ενεργού συστατικού για περιεκτικότητες της τάξεως του 10 και 20 % των συνολικών στερεών (g ενεργού συστατικού/100 g στερεών στο γαλάκτωμα). Η συνολική ποσότητα στερεών στο γαλάκτωμα διατηρήθηκε σταθερή σε όλα τα πειράματα και ήταν της τάξης του 30% (g στερεών/ 100 g γαλακτώματος).

Για την παρασκευή του γαλακτώματος ορισμένη ποσότητα αραβικού κόμματος προστέθηκε σε απεσταγμένο νερό, σε θερμοκρασία 50 °C, υπό συνεχή ανάδευση, στην περίπτωση που

εφαρμόστηκε μίγμα φορέων, και αφού επιτεύχθηκε πλήρης διάλυση αυτού (20-25 min), προστέθηκε η ανάλογη ποσότητα μαλτοδεξτρίνης και η ανάδευση συνεχίστηκε διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία έως το σημείο που δημιουργήθηκε διαυγές διάλυμα. Στη συνέχεια, προστέθηκε το εκχύλισμα, στο οποίο πραγματοποιήθηκε συμπύκνωση με χρήση περιστροφικού εξατμιστήρα κενού (Hei-VAP Value, Heidolph) ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή περιεκτικότητα στερεών στο γαλακτώμα, και το διάλυμα παρέμεινε σε ψύξη (7 °C) κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αφού το διάλυμα των φορέων εγκλεισμού θερμάνθηκε προκειμένου να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 °C) ακολούθησε γαλακτωματοποίηση του διαλύματος με χρήση ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (UnidriveX 1000, CAT) για 15 min στις 15000 rpm.

#### **4.3.1.2 Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying)**

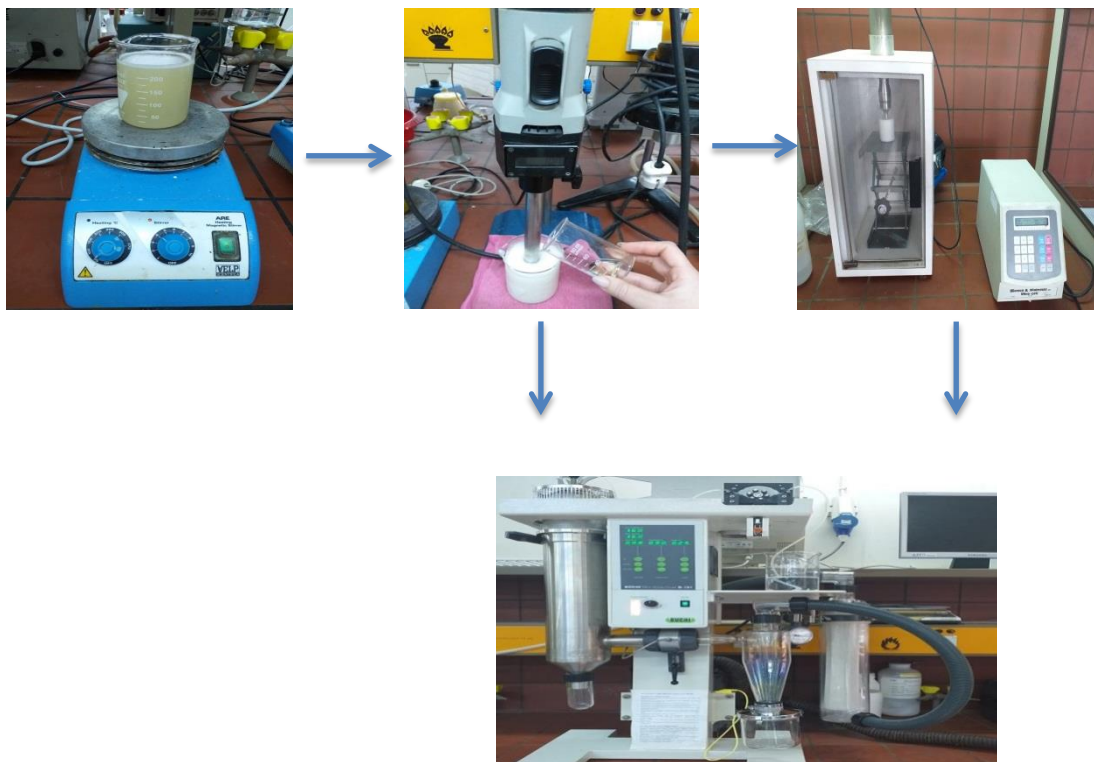
Αμέσως μετά την διεργασία της ομογενοποίησης, τα γαλακτώματα οδηγήθηκαν προς ξήρανση στον ξηραντήρα με ψεκασμό (Spray Dryer -Büchi 190 Mini). Οι παράμετροι λειτουργίας του ξηραντήρα είναι η θερμοκρασία εισόδου αέρα (Τεισόδου) , για την οποία εξετάστηκαν δύο διαφορετικές τιμές στην περίπτωση των εκχυλισμάτων και τρεις στην περίπτωση του αρώματος κεράσι, οι οποίες ήταν οι 140 και 160 °C και οι 140, 160 και 180 °C αντίστοιχα, η θερμοκρασία εξόδου αέρα (Τεξόδου) η οποία κυμάνθηκε στους 65-75 °C στην περίπτωση των 140°C, στους 85-95°C για Τεισόδου=160 °C και στους 95-100°C για Τεισόδου=180 °C, η πίεση εκνέφωσης, (Ρατομοποίησης) η οποία διατηρήθηκε σταθερή σε όλα τα πειράματα και ίση με 5 bar, η θερμοκρασία τροφοδοσίας γαλακτωμάτων (Ττροφοδοσίας δ/τος), η οποία ήταν 25 °C, και ο ρυθμός τροφοδοσίας γαλακτώματος, ο οποίος σε κάθε πείραμα ρυθμιζόταν και παρέμενε σταθερός στο σημείο που επιτυγχανόταν η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου. Με την ολοκλήρωση της διεργασίας, το τελικό προϊόν συλλέχθηκε και ένα μέρος του χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύτηκε σε πολυστρωματική συσκευασία, η οποία σφραγίστηκε αεροστεγώς, και διατηρήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μελλοντική ανάλυση.

Ακολουθεί παρουσίαση σε μορφή διαγράμματος ροής του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κατά της διεργασίες παραγωγής του γαλακτώματος και της ξήρανσης με ψεκασμό.

Διάλυση φορέων εγκλεισμού (MD, GA)

Ομογενοποίηση ,  
Unidrive X 1000, CAT

Εφαρμογή υπερήχων,  
VCX 400, SONICS & MATERIALS INC.



Ξήρανση με ψεκασμό, SD-Büchi 190 Mini

*Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής γαλακτώματος και ξήρανσης με ψεκασμό με παρουσίαση της οργανολογίας*

## 4.4 Αναλύσεις- Μετρήσεις

### 4.4.1 Προσδιορισμός συστατικών

Ο προσδιορισμός της σύστασης του ενεργού συστατικού είναι μία διαδικασία καθοριστικής σημασίας καθώς, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η φύση του ενεργού συστατικού είναι αυτή που κρίνει τον πειραματικό σχεδιασμό, δηλαδή όλες τις παραμέτρους που πρόκειται να εφαρμοστούν για τον επιτυχή εγκλεισμό αυτής.

#### Προσδιορισμός αρωματικών συστατικών του αρώματος κεράσι

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συστατικών του αρώματος ήταν αυτή της αέριας χρωματογραφίας – φασματομετρίας μάζας (GC-MS). Οι αναλύσεις διεξήχθησαν σε ένα σύστημα αέριου χρωματογράφου του οίκου Agilent Technologies, μοντέλο 7890A, συζευγμένο με ανιχνευτή μάζας (mass selective detector) του ίδιου οίκου και μοντέλο 5975 C MSD της κατηγορίας των τετραπολικών ανιχνευτών μάζας. Επίσης,

χρησιμοποιήθηκε η τριχοειδής στήλη Agilent 1909/S (30 m×0.25 mm i.d., πάχος επικάλυψης = 0.25 μm). Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το ήλιο με ροή = 1 ml/min, τιμή ενέργειας (EI) στα 70 eV, θερμοκρασία εισόδου 220 °C και split 20:1. Το πρόγραμμα θερμοκρασίας του φούρνου του αέριου χρωματογράφου ήταν το εξής: ξεκινώντας από τους 50 °C (0.5 min) αυξήθηκε στους 100 °C με ρυθμό 10°C /min, στη συνέχεια έφτασε στους 220°C με ρυθμό 15°C /min, όπου και τελικά διατηρήθηκε σταθερή για ακόμη 7 min. Η ταυτοποίηση των αρωματικών συστατικών πραγματοποιήθηκε με σύγκριση των χρόνων απόκρισης και των δεδομένων φασματοσκοπίας μαζών (φασμάτων) με τα αντίστοιχα των προτύπων ουσιών (LIB: Wiley 7/NIST05), ενώ η ποσοτικοποίηση διεξήχθη με τη βοήθεια καμπυλών αναφοράς, με χρήση διαλυμάτων πρότυπων ουσιών σε αιθανόλη και διαιθυλαιθέρα.

### **Προσδιορισμός φαινολικών συστατικών των εκχυλισμάτων δενδρολίβανου**

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των φαινολικών συστατικών των εκχυλισμάτων ήταν αυτή της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC). Συγκεκριμένα, τα δείγματα ενσωματώθηκαν σε στήλη αντίστροφης φάσης Hypersil C18 (ODS 5 μm, 250x4,6 mm, AZ Analysentechnik, Mainz, Germany) και ακολούθησαν δύο μέθοδοι ταυτοποίησης. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Flav, η οποία μας επιτρέπει κυρίως την ποσοτικοποίηση των φαινολικών οξέων και των φλαβονοειδών. Η ροή του διαλύτη μέσα στην στήλη ήταν 1 mL/min. Ο διαλύτης A ήταν νερό ποιότητας HPLC με 0,2% TFA, ο διαλύτης B ήταν μεθανόλη ποιότητας HPLC με 0,2% TFA και ο διαλύτης C ήταν ακετονιτρίλιο ποιότητας HPLC με 0,2% TFA. Η αρχική σύνθεση της κινητής φάσης ήταν 90% A, 6% B και 4% C και με γραμμικές κλίσεις άλλαξε σε 71% A, 17,4% B και 11,6% C σε διάστημα 30 min και σε 0% A, 85% B και 15% C σε διάστημα 70 min. Ο όγκος έγχυσης ήταν 2-20 μL ανάλογα την συγκέντρωση του εκχυλίσματος και η ανίχνευση DAD πραγματοποιήθηκε στα 280 nm για τις φλαβονόνες και τις φλαβόνες και στα 360 nm για τις φλαβονόλες. Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των φαινολικών διτερπενίων ήταν η Carnosic. Η ροή των διαλυτών παρέμεινε ίδια με αυτήν που είχε οριστεί στην μέθοδο Flav. Ο διαλύτης A ήταν νερό ποιότητας HPLC με 0,1% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> και ο B διαλύτης ήταν μεθανόλη ποιότητας HPLC με 0,1% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Η αρχική σύνθεση της κινητής φάσης ήταν 10% A και 90% B και με γραμμική κλίση άλλαξε σε 40% A και 60% B σε διάστημα 15 min και σε 100% A και 0% B και 15% C σε διάστημα 40 min. Η ανίχνευση DAD πραγματοποιήθηκε στα 230 nm για τα φαινολικά διτερπένια. Η ποσοτικοποίηση των επιμέρους ενώσεων βασίστηκε σε καμπύλες αναφοράς που έχουν κατασκευαστεί για χαρακτηριστικές ουσίες κάθε κατηγορίας, στα προαναφερθέντα μήκη κύματος για κάθε μέθοδο.

#### **4.4.2 Προσδιορισμός επιφανειακού και εγκλεισμένου ενεργού συστατικού στο τελικό προϊόν**

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ποσότητα του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της κάψουλας (τελικό προϊόν) η διαδικασία, η οποία πραγματοποιήθηκε εις διπλούν για κάθε πείραμα εγκλεισμού, ήταν η εξής:

*Προϊόν μικροεγκλεισμού αρώματος κεράσι*

Σε σφραγιζόμενο φιαλίδιο τοποθετούνται 1 g σκόνης και 10 ml διαιθυλαιθέρα και το αιώρημα αφήνεται υπό ανάδευση για 10 min. Στην συνέχεια, λαμβάνεται το υπερκείμενο υγρό και τοποθετείται σε ογκομετρική όπου πληρώνεται με διαιθυλαιθέρα μέχρι τελικού όγκου 25 ml. Με την ολοκλήρωση της απομόνωσης του επιφανειακού ενεργού συστατικού από το δείγμα, ακολούθησε προσδιορισμός αυτού στο εσωτερικό του προϊόντος

εγκλεισμού. Πιο αναλυτικά, μετά τον διαχωρισμό του αιωρήματος και έχοντας πλέον μόνο τη στερεή φάση (ίζημα), τοποθετήθηκαν σε αυτή 10 ml απεσταγμένου νερού και πραγματοποιήθηκε έντονη ανακίνηση για 1 min με τη χρήση συσκευής vortex, προκειμένου να πραγματοποιηθεί πλήρης διάλυση της μικροκάψουλας. Ακολούθησε προσθήκη 15 ml αιθανόλης και έντονη ανάδευση για 10 min με χρήση συσκευής stirrer. Τελικώς, το διάλυμα διηθείται με χρήση φίλτρου διήθησης (RC-45/25, 0.45 μm, Chromafil Xtra) και παραλαμβάνεται 1 ml διηθήματος το οποίο τοποθετείται σε ογκομετρική φιάλη προς πραγματοποίηση αραιώσης, με χρήση αιθανόλης, μέχρι τον τελικό όγκο των 10 ml. Σε μια αντιπροσωπευτική ποσότητα του διαλύματος αυτού πραγματοποιήθηκε επαναδιήθηση και ποσότητα 1 ml αυτού οδηγήθηκε προς ανάλυση με τη χρήση αέριας χρωματογραφίας – φασματομετρίας μάζας (GC-MS) με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1.1.

#### *Προϊόν μικροεγκλεισμού εκχυλισμάτων δενδρολίβανου*

Σε σφραγιζόμενο φιαλίδιο τοποθετούνται 1 g σκόνης και 10 ml μίγματος αιθανόλης : μεθανόλης (1:1) και στο αιώρημα εφαρμόζεται έντονη ανάδευση για 1 min (Nunes et al., 2015). Μια αντιπροσωπευτική ποσότητα του αιωρήματος διηθείται με χρήση φίλτρου διήθησης (RC-45/25, 0.45 μm, Chromafil Xtra) και τοποθετείται σε φυαλλίδιο δειγματοληψίας του υγρού χρωματογράφου. Για τον προσδιορισμό του εγκλεισμένου ενεργού συστατικού 10 ml απεσταγμένου νερού αναμίχθηκαν με 1 g σκόνης και πραγματοποιήθηκε έντονη ανακίνηση για 1 min με τη χρήση συσκευής vortex. Ακολούθησε προσθήκη 15 ml αιθανόλης και έντονη ανάδευση για 1-2 min με χρήση συσκευής vortex. Τελικώς, το διάλυμα διηθείται με χρήση φίλτρου διήθησης (RC-45/25, 0.45 μm, Chromafil Xtra) και τοποθετείται επίσης σε φυαλλίδιο δειγματοληψίας του υγρού χρωματογράφου. Τα δύο φυαλλίδια τοποθετήθηκαν στον υγρό χρωματογράφο υψηλής απόδοσης και 20 μl από το πρώτο και 5 μl από το δεύτερο οδηγήθηκαν προς ανάλυση με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1.2.

#### **4.4.3 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού, Επιφανειακής Περιεκτικότητας και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού**

Η απόδοση μικροεγκλεισμού (microencapsulation yield, MEY (%)) είναι ενδεικτική της επιτυχίας της διεργασίας εγκλεισμού των πτητικών συστατικών του αρώματος κεράσι και των φαινολικών των εκχυλισμάτων και προσδιορίστηκε από τη σχέση:

$$MEY = \frac{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στη μικροκάψουλα} \times 100}{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας}}$$

Η περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος (surface compound content, SCC (%)) προσδιορίστηκε από τη σχέση:

$$SCC = \frac{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στην επιφάνεια της μικροκάψουλας} \times 100}{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας}}$$

Η αποτελεσματικότητα της διεργασίας μικροεγκλεισμού (microencapsulation efficiency, MEE (%)) προσδιορίστηκε από τη σχέση:

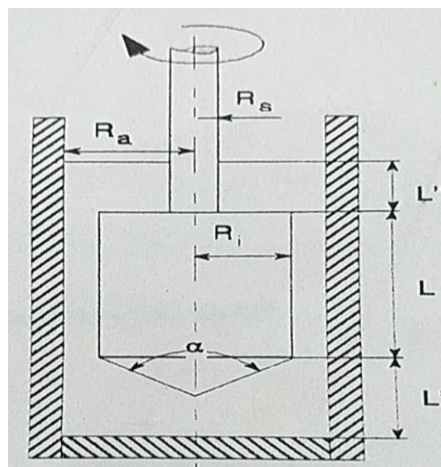
$$MEE = \frac{MEY - SCC}{MEY} = \frac{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στον πυρήνα της μικροκάψουλας} \times 100}{\text{Περιεκτικότητα κάθε συστατικού στη μικροκάψουλα}}$$

όπου η περιεκτικότητα ορίζεται ως g συστατικού/ g στερεών (συστατικού & φορέα εγκλεισμού) στο τελικό προϊόν και στο γαλάκτωμα αντίστοιχα.

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των αρωματικών συστατικών του αρώματος κεράσι και των φαινολικών συστατικών των εκχυλισμάτων δενδρολίβανου στο γαλάκτωμα, θεωρήθηκε ότι δεν χάνεται καθόλου ενεργό συστατικό κατά την διεργασία της γαλακτωματοποίησης. Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι για απόδοση μικροεγκλεισμού 100 %, στο 1 g τελικού προϊόντος που αναλύεται, όπως περιγράφεται στην παραπάνω παράγραφο, θα έπρεπε να περιέχονται 0.2 g ή 0.1 g αρώματος κεράσι και εκχυλίσματος, ανάλογα με το πείραμα. Με την υπόθεση αυτή, ακολούθησε η εξής αναλυτική μέθοδος: 0.2 g αρώματος κεράσι προστέθηκαν σε ογκομετρική των 100 ml, η οποία πληρώθηκε στην μία περίπτωση με διαιθυλαιθέρα και στην άλλη με αιθανόλη και ακολούθησε αραίωση 1:10 του κάθε διαλύματος με τον αντίστοιχο διαλύτη. Από το κάθε διάλυμα παραλήφθηκε ποσότητα 1 ml η οποία αναλύθηκε με την μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας - φασματομετρίας μάζας με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1.1.

#### 4.4.4 Μέτρηση φαινομένου ιξώδους και προσδιορισμός ρεολογικής συμπεριφοράς

Το φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων προσδιορίστηκε με χρήση ροόμετρου τύπου Rheometer RC1 (Rheotec). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 °C), για όγκο δείγματος 70 ml και το στέλεχος που χρησιμοποιήθηκε ήταν το CC48, τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.2. Για τον χαρακτηρισμό του δείγματος εφαρμόστηκε ρυθμός διάτμησης ( $D$ , 1/s) ο οποίος στο χρονικό διάστημα από 0-180 s αυξήθηκε από τα 5 στα 300 1/s, όπου και διατηρήθηκε σταθερός για άλλα 20 s.



$R_s=3.5$ mm
$R_a=24.4$ mm
$R_i=23.9$ mm
$\alpha=120^\circ$
$L''=22.5$ mm
$L=67.5$ mm
$L'=35$ mm

Εικόνα 4.2: Χαρακτηριστικά στελέχους CC48

#### 4.4.5 Μικροσκοπική εξέταση γαλακτωμάτων

Τα γαλακτώματα εξετάστηκαν οπτικά με ένα μικροσκόπιο φωτός (DM750P, Leica, Wetzlar, Germany). Μερικές σταγόνες των δειγμάτων γαλακτώματος τοποθετήθηκαν σε γυάλινη

αντικειμενοφόρο πλάκα και καλύφθηκαν με γυάλινη καλυπτρίδα και παρατηρήθηκαν κάτω από το μικροσκόπιο. Οι μικροσκοπικές εικόνες λήφθηκαν χρησιμοποιώντας μια ψηφιακή κάμερα συνδεδεμένη στο μικροσκόπιο.

#### **4.4.6 Προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας στο προϊόν εγκλεισμού**

Προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεχόμενη υγρασία στο τελικό προϊόν 0.5 g δείγματος τελικού προϊόντος τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένα φιαλίδια ζύγισης, τα οποία στη συνέχεια οδηγήθηκαν προς ξήρανση σε κλίβανο με αέρα στους 105 °C και παρέμειναν εκεί για 3 h, χρονικό διάστημα πέρα από το οποίο διαπιστώθηκε ότι το βάρος σταθεροποιείται. Ακολούθησε η εισαγωγή τους σε ξηραντήρα με silica gel, προκειμένου να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας, μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος ( περίπου 20 min). Τελικά, τα δείγματα ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών και με αφαίρεση του τελικού από το αρχικό βάρος προέκυψε η περιεχόμενη υγρασία, η οποία εκφράστηκε % σε ξηρή βάση.

### **4.5 Στατιστική Επεξεργασία**

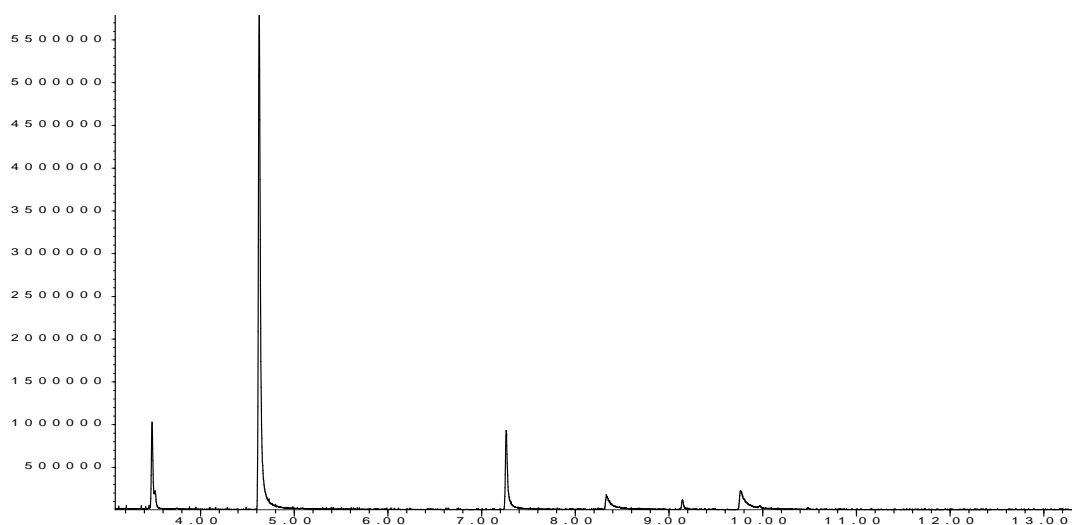
Όλα τα πειράματα, όπως και οι αναλύσεις – μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις διπλούν και στις μέσες τιμές αυτών πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, συγκεκριμένα ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) με χρήση μιας παραμέτρου, ώστε να εκτιμηθεί η στατιστική σημαντικότητα της επίδρασης διάφορων παραγόντων (αναλογία φορέων, συγκέντρωση ενεργού συστατικού, εφαρμογή γαλακτωματοποιητή, μέθοδος ομογενοποίησης και θερμοκρασία εισόδου αέρα) στην απόδοση μικροεγκλεισμού και στην επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών. Ακόμη, προκειμένου να αποτιμηθούν για κάθε παράγοντα χωριστά οι σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους για κάθε εναλλακτική περίπτωση εφαρμόστηκε κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) με  $\alpha=0.05$ . Τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού πακέτου IBM SPSS Statistics 19.

## 5. Αποτελέσματα - Συζήτηση

### 5.1 Αποτελέσματα μικροεγκλεισμού αρώματος κεράσι

#### 5.1.1 Αρωματικά συστατικά του αρώματος κεράσι

Ύστερα από ανάλυση του αρώματος κεράσι, με εφαρμογή αέριας χρωματογραφίας – φασματομετρίας μάζας, προέκυψε ότι περιλαμβάνει εννέα αρωματικά συστατικά τα οποία είναι ο οξικός ισοαμυλεστέρας ( isoamyl-acetate, IA,  $t_R=3.5$  min), η βενζαλδεΐδη (benzaldehyde, B,  $t_R=4.6$  min), ο οξικός βενζυλεστέρας (benzyl- acetate, BA,  $t_R=7.3$  min), η γερανιόλη (geraniol,  $t_R=8.3$  min), η ανισαλδεΐδη (anisaldehyde, A,  $t_R=8.3$  min), η τριασετίνη (triacetin,  $t_R=9.2$  min), η βανιλίνη (vanillin, V,  $t_R=9.8$  min) και η άλφα (alpha-ionone,  $t_R=9.9$  min) και βήτα ιονονή (beta-ionone,  $t_R=10.5$  min). Το χρωματογράφημα που προέκυψε παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1. Μεταξύ των πτητικών συστατικών του αρώματος αυτά που επιλέχθηκε, βάσει περιεκτικότητας (Πίνακας 5.1), να εξεταστούν ως κύρια συστατικά του αρώματος ήταν ο οξικός ισοαμυλεστέρας, η βενζαλδεΐδη, ο οξικός βενζυλεστέρας, η ανισαλδεΐδη και η βανιλίνη.



Εικόνα 5.1: Καμπύλες και χρόνοι έκλουσης των αρωματικών συστατικών του αρώματος κεράσι



**Πίνακας 5.1:** Η περιεκτικότητα (% βάσει των εμβαδών των κορυφών της χρωματογραφικής ανάλυσης), ο χημικός τύπος, τα σημεία βρασμού (BP) και το μοριακό βάρος (MW) των κύριων συστατικών του αρώματος κεράσι

Αρωματικά Συστατικά	Περιεκτικότητα (%)	Χημικός Τύπος	BP (°C)	MW (g/mol)
Οξικός ισοαμυλεστέρας	10.6	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	141	130.19
Βενζαλδεΰδη	64.7	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	178	106.12
Οξικός βενζυλεστέρας	12.2	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	212	150.18
Ανισαλδεΰδη	4.2	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	248	136.15
Βανιλίνη	4.6	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	285	152.15

### 5.1.2 Ιδιότητες του γαλακτώματος τροφοδοσίας

Οι ιδιότητες των γαλακτωμάτων που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική ήταν το φαινόμενο ιξώδες και η κατανομή μεγέθους των παραγόμενων σωματιδίων. Σχετικά με το ιξώδες, όπως έχει προαναφερθεί, υποστηρίζεται από διάφορους ερευνητές η ύπαρξη μιας βέλτιστης τιμής για την οποία παρατηρείται μείωση της εσωτερική κινητικότητας και ταλάντωσης των σωματιδίων, ενώ επιταχύνεται η επιλεκτική διάχυση με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση εγκλεισμού. Για υψηλότερες της βέλτιστης τιμής η απόδοση τείνει να μειωθεί λόγω του αργού και δύσκολου σχηματισμού διακριτών σωματιδίων και μεγαλύτερης έκθεσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του ψεκασμού. Ακόμη, στις περιπτώσεις γαλακτωμάτων υψηλού ιξώδους παρατηρείται σημαντική απώλεια προϊόντος καθώς αρκετό μέρος αυτού 'κολλάει' στο εσωτερικό της συσκευής. Όσον αφορά το μέγεθος των σταγονιδίων τις διεσπαρμένης φάσης έχει παρατηρηθεί ότι υψηλότερες αποδόσεις εγκλεισμού πηκτικών συστατικών επιτυγχάνονται για γαλακτώματα με σωματίδια μικρότερου μεγέθους.

### Φαινόμενο ιξώδες γαλακτώματος

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2, το φαινόμενο ιξώδες φάνηκε να εξαρτάται από την συγκέντρωση του αραβικού κόμμεος στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα, αυξανόμενη της συγκέντρωσης του αραβικού κόμμεος παρατηρήθηκε και αύξηση του ιξώδους, με την μεγαλύτερη τιμή να σημειώνεται για την αναλογία MD:GA ίση με 1:1, γεγονός που ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι το αραβικό κόμμι έχει σημαντικά υψηλότερο μοριακό βάρος, καθώς παρουσιάζει και υψηλότερη γραμμικότητα από την μαλτοδεξτρίνη. Όπως ήταν αναμενόμενο, στη χαμηλότερη συγκέντρωση αρώματος δημιουργήθηκε γαλάκτωμα υψηλότερου ιξώδους, καθώς για την ίδια ποσότητα MD και GA προστέθηκε λιγότερο flavor, χωρίς ωστόσο αυτή η αύξηση να είναι στατιστικά σημαντική. Επίσης, η προσθήκη Tween 20 (0.5 % επί των στερεών) δεν επηρέασε την τιμή του ιξώδους. Ωστόσο, ανάλογα με τη μέθοδο ομογενοποίησης που εφαρμόστηκε, το φαινόμενο ιξώδες φάνηκε να επηρεάζεται με τη μικρότερη τιμή να σημειώνεται στην περίπτωση που εφαρμόστηκε ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας με (O) ή χωρίς (OΔ) διαίρεση του μίγματος και τη μεγαλύτερη στη περίπτωση εφαρμογής υπερήχων με (TY) ή χωρίς (Y) προσθήκη Tween 20. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη δημιουργία γαλακτωμάτων μικρότερων σωματιδίων κατά την εφαρμογή υπερήχων με αποτέλεσμα αύξηση του ιξώδους, καθώς αύξηση της αναλογίας μεταξύ της επιφάνειας των σταγονιδίων και του όγκου των σταγονιδίων και η επακόλουθη αύξηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σταγονιδίων οδηγούν σε υψηλότερη αντίσταση ροής (Mezger, 2006).

**Πίνακας 5.2:** Τιμές φαινόμενου ιξώδους για τις διαφορετικές συνθήκες παραγωγής γαλακτώματος τροφοδοσίας

<b>Παράμετροι</b>				
Αναλογία (MD:GA) <sup>1</sup>	1:0	3:1	2:1	1:1
Ιξώδες (mPa.s)	5±1 <sup>a</sup>	12±1 <sup>b</sup>	16±1 <sup>c</sup>	25±2 <sup>d</sup>
Περιεκτικότητα flavor (% επί των στερεών) <sup>2</sup>	10	20		
Ιξώδες (mPa.s)	17±1 <sup>a</sup>	16±1 <sup>a</sup>		
Περιεκτικότητα Tween (% επί των στερεών) <sup>3</sup>	0.5	0		
Ιξώδες (mPa.s)	16±1 <sup>a</sup>	16±1 <sup>a</sup>		
Μέθοδος ομογενοποίησης <sup>4</sup>	O	OΔ	Y	TY
Ιξώδες (mPa.s)	16±1 <sup>a</sup>	17±1 <sup>a,b</sup>	19±1 <sup>b,c</sup>	20±2 <sup>c</sup>

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

O: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας, OΔ: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος, Y: Υπέρηχοι, TY : Tween 20 και Υπέρηχοι

<sup>1</sup>flavor 20 %, Tween 0 %, ομογενοποίηση O

<sup>2</sup>MD:GA: 2:1, Tween 0 %, ομογενοποίηση O

<sup>3</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1, ομογενοποίηση O

<sup>4</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1.

### 5.1.3 Χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος

Τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος που προσδιορίστηκαν ήταν η Απόδοση Μικροεγκλεισμού (Microencapsulation yield, MEY), η περιεκτικότητα του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια της σκόνης (surface flavor content, SCC), η Αποτελεσματικότητα Μικροεγκλεισμού (Microencapsulation Efficiency, MEE) και η περιεχόμενη υγρασία.

#### 5.1.3.1 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού (MEY), Επιφανειακής Περιεκτικότητας (SCC) και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού (MEE) των προϊόντων μικροεγκλεισμού για τις διαφορετικές παραμέτρους που εξετάστηκαν.

##### Αναλογία φορέων εγκλεισμού

Το βασικότερο κριτήριο επιλογής φορέα εγκλεισμού είναι η ικανότητα του να εγκλείει τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα του ενεργού συστατικού, ενώ ταυτόχρονα να συγκρατεί όσο το δυνατόν μικρότερο μέρος αυτής στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Δεδομένου ότι τα περισσότερα υλικά που εφαρμόζονται σε διεργασίες εγκλεισμού δεν εμφανίζουν όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός ιδανικού φορέα σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μίγματα φορέων ώστε να συνδυαστούν τα χαρακτηριστικά τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε το μίγμα φορέων μαλτοδεξτρίνης με αραβικό κόμμα.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα που δίνονται στον Πίνακα 5.3, για κάθε αναλογία των φορέων εγκλεισμού, η τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού καθώς και η μεταβολή της με

εφαρμογή διαφορετικών συνθηκών έχουν διαφορετική τιμή για καθένα από τα πέντε αρωματικά συστατικά. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη διαφορετική φύση του κάθε συστατικού και συγκεκριμένα στα διαφορετικά μοριακά βάρη και σημεία βρασμού αυτών (Reineccius, 1988). Πιο αναλυτικά, στην παρούσα διπλωματική διαπιστώθηκε, σε συμφωνία με τις μελέτες των Bangs and Reineccius (1982), Adamiec and Kalemba (2006) και Pellicer et al. (2018), ότι τα βαρύτερα και λιγότερο πτητικά συστατικά σημείωσαν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις συγκριτικά με εκείνα χαμηλότερου μοριακού βάρους και υψηλότερης πτητικότητας, με πρωτεύοντα ρόλο να διαδραματίζει η σχετική πτητικότητα (Πίνακας 5.1, 5.3). Δηλαδή, η απόδοση μικροεγκλεισμού ακολούθησε τη σειρά: οξικός ισοαμυλεστέρας < βενζαλδεΐδη < οξικός βενζυλεστέρας < ανισαλδεΐδη < βανιλίνη. Η συμπεριφορά αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι τα συστατικά υψηλότερου μοριακού βάρους έχουν και μεγαλύτερο μέγεθος με αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερη η διάχυσή τους στην επιφάνεια των παραγόμενων κατά την εκνέφωση των σωματιδίων και συνεπώς η απώλειά τους. Ακόμη, δεδομένου ότι η ξήρανση με ψεκασμό πραγματοποιείται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, στη συγκεκριμένη περίπτωση στους 140 – 180 °C, είναι αναμενόμενο συστατικά με σημεία βρασμού κοντινά σε αυτές να σημειώνουν υψηλότερες απώλειες συγκριτικά με εκείνα με σημεία βρασμού αρκετά υψηλότερα της θερμοκρασίας λειτουργίας του ξηραντήρα.

Όσον αφορά την επίδραση της αναλογίας των φορέων στη διεργασία μικροεγκλεισμού, οι μικρότερες τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού (MEY) για όλα τα πτητικά συστατικά παρατηρήθηκαν για τα γαλακτώματα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις μαλτοδεξτρίνης, δηλαδή για αυτά με αναλογία μαλτοδεξτρίνης προς αραβικό κόμμι ίση με 1:0 και 3:1, μεταξύ των οποίων η διαφορά στις τιμές απόδοσης κάθε αρωματικού συστατικού δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Αυξανόμενη της συγκέντρωσης του αραβικού κόμμιος στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας σημειώθηκε αύξηση και της απόδοσης μικροεγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών με μέγιστες τιμές να επιτυγχάνονται στις αναλογίες MD:GA, 2:1 και 1:1 μεταξύ των οποίων επίσης δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού (Πίνακας 5.3). Παρόμοια συμπεράσματα παρουσιάζονται και στις μελέτες των Pellicer et al. (2018), Beristain et al. (1999) και Bhandari et al. (1992) οι οποίοι παρατήρησαν επίσης ότι αυξανόμενη της αναλογίας κόμμιος : μαλτοδεξτρίνης, μέχρι μίας βέλτιστης τιμής, επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις μικροεγκλεισμού πτητικών συστατικών. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι προκειμένου να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις εγκλεισμού ο φορέας πρέπει να δημιουργεί ένα προστατευτικό φιλμ γύρω από τα σταγονίδια ενεργού συστατικού, προστατεύοντας το με αυτόν τον τρόπο κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, επιτρέποντας ταυτόχρονα την εξάτμιση του νερού, ικανότητα που οι μαλτοδεξτρίνες δεν διαθέτουν λόγω της μειωμένης ικανότητας τους να δημιουργούν γαλακτώματα, σε αντίθεση με το αραβικό κόμμι που διαθέτει εξαιρετικές γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες (Reineccius, 1991).

Η περιεκτικότητες των πτητικών συστατικών του αρώματος κεράσι στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος (SCC), οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3, φάνηκε να παρουσιάζουν και αυτές την ίδια συμπεριφορά με την απόδοση μικροεγκλεισμού, δηλαδή αυξανόμενη της συγκέντρωσης του αραβικού κόμμιος αυξήθηκε και η επιφανειακή περιεκτικότητα με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στην αναλογία 1:1. Οι τιμές που προέκυψαν στις υπόλοιπες αναλογίες αν και παρουσίασαν αύξηση αυξανόμενη της συγκέντρωσης του κόμμιος, αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική για τα περισσότερα από τα συστατικά του αρώματος. Ανάλογα ήταν και τα συμπεράσματα των Beristain et al. (1999).

Παρ' όλα αυτά, ακόμη και στην περίπτωση της 1:1 αναλογίας, οι επιφανειακές περιεκτικότητες των συστατικών είναι αρκετά χαμηλές ώστε να είναι ικανοποιητικές για την διεργασία εγκλεισμού γεγονός που αποδεικνύεται εξετάζοντας τις τιμές της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού (MEE) οι οποίες κυμάνθηκαν από 93 - 99 % για όλα τα αρωματικά συστατικά σε κάθε εξεταζόμενη αναλογία των φορέων. Οι αρκετά χαμηλές τιμές επιφανειακής περιεκτικότητας και η συνεπαγόμενη υψηλή αποτελεσματικότητα εγκλεισμού αποδίδεται στην υψηλή πητικότητα των προς εγκλεισμό συστατικών μεγάλο μέρος των οποίων εξατμίζεται όταν εκτίθενται στις υψηλές θερμοκρασίες της διεργασίας ζήρασης με ψεκασμό.

Αν και οι αποδόσεις μικροεγκλεισμού παρουσίασαν μέγιστες τιμές στις αναλογίες 2:1 και 1:1, η αναλογία που επιλέχθηκε ως βέλτιστη ήταν η 2:1, τόσο επειδή για αυτήν οι τιμές της επιφανειακής περιεκτικότητας των συστατικών ήταν σημαντικά χαμηλότερες, όσο και λόγω του ότι το αραβικό κόμμι αποτελεί μια ακριβή πρώτη ύλη και για τον λόγο αυτό προτιμάται η αντικατάστασή του, ολική ή μερική, από πιο οικονομικά υλικά.

**Πίνακας 5.3:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των αρωματικών συστατικών του αρώματος κεράσι για διαφορετικές αναλογίες των φορέων εγκλεισμού, μαλτοδεξτρίνης (MD) και αραβικού κόμμιος (GA)\*

Αρωματικά συστατικά	Αναλογίες (MD:GA)			
	1:0	3:1	2:1	1:1
	MEY (%)			
1. Isoamyl-acetate	11±3 <sup>a</sup>	15±2 <sup>a</sup>	24±2 <sup>b</sup>	26±3 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	16±3 <sup>a</sup>	17±4 <sup>a</sup>	28±2 <sup>b</sup>	27±2 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	20±4 <sup>a</sup>	24±5 <sup>a</sup>	39±3 <sup>b</sup>	34±4 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	29±4 <sup>a</sup>	30±5 <sup>a</sup>	48±4 <sup>c</sup>	39±4 <sup>b</sup>
5. Vanillin	40±2 <sup>a</sup>	40±3 <sup>a</sup>	51±4 <sup>b</sup>	49±5 <sup>b</sup>
	SCC (%)			
1. Isoamyl-acetate	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.7±0.1 <sup>b</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>	1.7±0.5 <sup>c</sup>
2. Benzaldehyde	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.5±0.1 <sup>a</sup>	0.7±0.2 <sup>a</sup>	1.6±0.7 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	0.3±0.1 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>a</sup>	0.9±0.1 <sup>a</sup>	2.1±0.6 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	0.2±0.1 <sup>a</sup>	1.0±0.2 <sup>b</sup>	1.2±0.2 <sup>b</sup>	2.5±0.8 <sup>c</sup>
5. Vanillin	0.8±0.2 <sup>a</sup>	1.3±0.1 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>a</sup>	3.0±0.8 <sup>b</sup>
	MEE (%)			
1. Isoamyl-acetate	98.2±0.3	95.2±0.0	96.7±0.1	93.5±1.3
2. Benzaldehyde	98.7±0.4	96.9±0.1	97.4±0.4	94.3±2.1
3. Benzyl-acetate	98.4±0.6	96.5±0.2	97.6±0.0	93.9±1.3
4. Anisaldehyde	99.4±0.2	96.6±0.0	97.6±0.2	93.6±1.4
5. Vanillin	98.1±0.2	96.9±0.0	96.9±0.0	93.9±1.2

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των αρωματικών συστατικών εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), περιεκτικότητα flavor ίση με 20 % επί των στερεών, Τεισόδου ίση με 160 °C και ως μέθοδος ομογενοποίησης εφαρμόστηκε Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας.

## Συγκέντρωση ενεργού συστατικού

Σε γενικές γραμμές, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με τον εγκλεισμό πτητικών συστατικών, προτείνεται η εφαρμογή σχετικά χαμηλών συγκεντρώσεων ενεργού συστατικού, της τάξης του 10-30 % (g ενεργού συστατικού/ 100 g στερεών γαλακτώματος), στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας. Με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης συγκέντρωσης του αρώματος κεράσι εξετάστηκαν δύο συγκεντρώσεις ίσες με 10 και 20 %.

Η ανάλυση των προϊόντων εγκλεισμού για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις έδειξε ότι υψηλότερη απόδοση μικροεγκλεισμού για τέσσερα από τα πέντε πτητικά συστατικά επιτεύχθηκε στην περίπτωση της υψηλότερης συγκέντρωσης (Πίνακας 5.4). Για τη βανιλίνη δεν ήταν στατιστικά σημαντική η αύξηση που παρατηρήθηκε στην περίπτωση συγκέντρωσης 20 %. Τα μεγαλύτερα ποσοστά απόδοσης μικροεγκλεισμού με την αύξηση της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού θα μπορούσε να αποδοθεί στην δημιουργία μικρότερων σωματιδίων στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας γεγονός το οποίο έχει αποδειχθεί σε αρκετές έρευνες ότι ευνοεί τη συγκράτηση των συστατικών με υψηλή πτητικότητα (Tonon et al., 2011, Jafari et al., 2008, Liu et al., 2001, Soottitantawat et al., 2005)

Σχετικά με τις τιμές επιφανειακής περιεκτικότητας των συστατικών φαίνεται ότι τα περισσότερα από αυτά δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταβαλλόμενης της συγκέντρωσης του αρώματος στο γαλάκτωμα, με εξαίρεση τον οξικό ισοαμυλεστέρα και τον οξικό βενζυλεστέρα των οποίων η τιμή σημείωσε μείωση αυξανόμενης της συγκέντρωσης. Βέβαια, οι επιφανειακές περιεκτικότητες των συστατικών είναι αρκετά χαμηλές ώστε και να σημειώνονται τιμές αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού της τάξης του 93 – 98 % (Πίνακας 5.4).

Με γνώμονα τα παραπάνω, η συγκέντρωση που επιλέχθηκε ως βέλτιστη ήταν αυτή με τιμή 20 %.

**Πίνακας 5.4:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των αρωματικών συστατικών για διαφορετικές συγκεντρώσεις του αρώματος κεράσι\*

Αρωματικά συστατικά	Συγκέντρωση (% επί των στερεών)	
	10	20
	<b>MEY (%)</b>	
1. Isoamyl-acetate	20±1 <sup>a</sup>	24±2 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	21±3 <sup>a</sup>	28±2 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	32±2 <sup>a</sup>	39±3 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	41±1 <sup>a</sup>	48±4 <sup>b</sup>
5. Vanillin	45±3 <sup>a</sup>	51±4 <sup>a</sup>
	<b>SCC (%)</b>	
1. Isoamyl-acetate	1.5±0.3 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	0.9±0.1 <sup>a</sup>	0.7±0.2 <sup>a</sup>
3. Benzyl-acetate	1.5±0.1 <sup>a</sup>	0.9±0.1 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	1.4±0.2 <sup>a</sup>	1.2±0.2 <sup>a</sup>
5. Vanillin	1.6±0.2 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>a</sup>
	<b>MEE (%)</b>	
1. Isoamyl-acetate	93.0±0.9	96.7±0.1
2. Benzaldehyde	96.1±0.2	97.4±0.4
3. Benzyl-acetate	95.6±0.1	97.6±0.0
4. Anisaldehyde	96.8±0.5	97.6±0.2
5. Vanillin	96.5±0.2	96.9±0.0

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των αρωματικών συστατικών εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 2:1, Τεισόδου ίση με 160 °C και ως μέθοδος ομογενοποίησης εφαρμόστηκε Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας.

### Προσθήκη γαλακτωματοποιητή

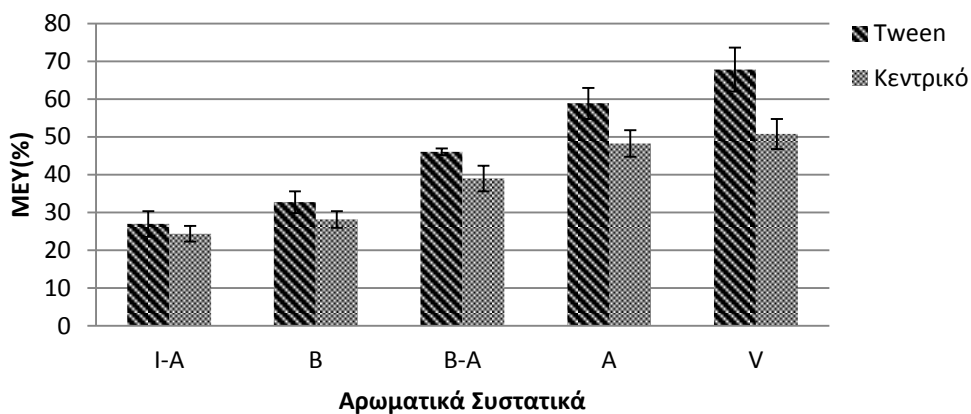
Η προσθήκη γαλακτωματοποιητή, και συγκεκριμένα Tween 20, σε περιεκτικότητα 0.5 % των στερεών του γαλακτώματος τροφοδοσίας, διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους και συγκεκριμένα για συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών/ 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA 2:1, περιεκτικότητα flavor 20 % επί των στερεών, Τεισόδου ίση με 160 °C και εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας, φάνηκε να ευνοεί σημαντικά τη διεργασία δίνοντας τελικό προϊόν με αυξημένες αποδόσεις μικροεγκλεισμού για όλα τα συστατικά, εκτός του οξικού ισοαμυλεστέρα και της βενζαλδεΐδης τα οποία σημείωσαν αύξηση χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντική. Πιο αναλυτικά, οι νέες αποδόσεις μικροεγκλεισμού (MEY) των αρωματικών συστατικών ανήλθαν σε 27 % για τον οξικό ισοαμυλεστέρα (IA), 33 % για την βενζαλδεΐδη (B), 46 %, για τον οξικό βενζυλεστέρα (BA), 59 % για την ανισαλδεΐδη (A) και 68 % για τη βανιλίνη (V) (Διάγραμμα 5.1α).

Όσον αφορά την επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) των συστατικών στο τελικό προϊόν που προέκυψε με προσθήκη Tween, οι τιμές όλων των συστατικών σημείωσαν σημαντική μείωση και συγκεκριμένα υποδιπλασιάστηκαν, ενώ στην περίπτωση της ανισαλδεΐδης ήταν σχεδόν έξι φορές μικρότερη (Διάγραμμα 5.1β), με την αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των συστατικών να κυμαίνεται μεταξύ 99 και 100 % (Πίνακας 5.6).

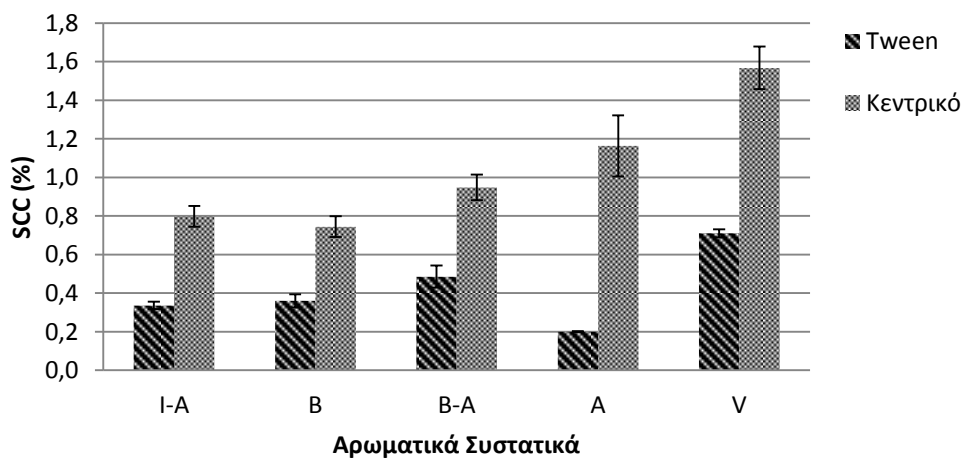
Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα των Minemoto et al. (2008) και Shamaei et al. (2016) οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση απόδοσης μικροεγκλεισμού και μείωση επιφανειακού ενεργού συστατικού με εφαρμογή Tween στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας. Η συμπεριφορά αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι η παρουσία του Tween ευνοεί την γαλακτωματοποίηση καθώς και τη σταθερότητα του παραγόμενου γαλακτώματος, δεδομένου ότι ένας γαλακτωματοποιητής είναι μια επιφανειοδραστική ουσία που είναι ικανή να προσροφάται σε μια διεπαφή ελαίου-νερού και να προστατεύει τα σταγονίδια γαλακτώματος από την κροκίδωση και / ή τη συνένωση (McClements, 2005), ενώ έχει ακόμη παρατηρηθεί από αρκετούς ερευνητές ότι οδηγεί σε δημιουργία μικρότερου μεγέθους σωματιδίων στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας, με αποτέλεσμα υψηλότερες αποδόσεις μικροεγκλεισμού (Shamaei et al., 2016, Minemoto et al., 2008, Jafari et al., 2007).

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την αυξημένη απόδοση και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών στο τελικό προϊόν παρουσία Tween 20, κρίνεται ιδιαίτερα ωφέλιμη η εφαρμογή του στο σύστημα μικροεγκλεισμού της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

(α)



(β)



Διαγράμματα 5.1α.β: Σύγκριση αποτελεσμάτων απόδοσης μικροεγκλεισμού (MEY) και επιφανειακής περιεκτικότητας (SCC) των αρωματικών συστατικών στο τελικό προϊόν

παρουσία (Tween) και απουσία (Κεντρικό) γαλακτωματοποιητή Tween 20 (0.5 % επί των στερεών).

### **Μέθοδος ομογενοποίησης**

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5, υψηλότερη απόδοση μικροεγκλεισμού σχεδόν για όλα τα αρωματικά συστατικά επιτεύχθηκε με εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), ενώ ακολούθησε η εφαρμογή του ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος και χρήση του μικρότερου στελέχους (ΟΔ) και τέλος η εφαρμογή του ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με χρήση του μεγαλύτερου στελέχους για όλο τον όγκο του μίγματος. Πιο αναλυτικά, η εφαρμογή των υπερήχων (Υ) είχε ως αποτέλεσμα σχεδόν διπλάσιες τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού συγκριτικά με εκείνες για τον ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (Ο). Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται στο γεγονός ότι για τις διαφορετικές μεθόδους ομογενοποίησης παράγονται διαφορετικά μεγέθη σταγονιδίων στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας, γεγονός που έχει αποδειχθεί από πλήθος ερευνών ότι επηρεάζει σημαντικά την απόδοση μικροεγκλεισμού πτητικών συστατικών. Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική, παρατηρήθηκε ότι μειούμενου του μεγέθους των σωματιδίων σημειώνεται αύξηση της απόδοσης μικροεγκλεισμού με τα μικρότερα σωματίδια να παράγονται κατά την εφαρμογή υπερήχων και τα μεγαλύτερα όταν εφαρμόστηκε ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας χωρίς διαίρεση του μίγματος (Εικόνα 5.1 α,β). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αρκετές ακόμη έρευνες μεταξύ των οποίων αυτές των Jafari et al. (2007), Risch et al. (1988) και Soottitantawat et al. (2003).

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές αυτών στις περιπτώσεις εφαρμογής αποκλειστικά ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (Ο, ΟΔ) . Βέβαια, στην περίπτωση εφαρμογής του σε συνδυασμό με υπερήχους παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές σχεδόν για όλα τα συστατικά , εκτός του οξικού ισοαμυλεστέτα και της βενζαλδεΰδης που φάνηκε να μην επηρεάζονται από την αλλαγή της μεθόδου ομογενοποίησης , χωρίς ωστόσο η αύξηση αυτή να αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού τόσο στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων όσο και στις δύο άλλες περιπτώσεις παρουσίασε ιδιαίτερα υψηλές τιμές οι οποίες ήταν της τάξης του 97 – 98 % (Πίνακας 5.5).



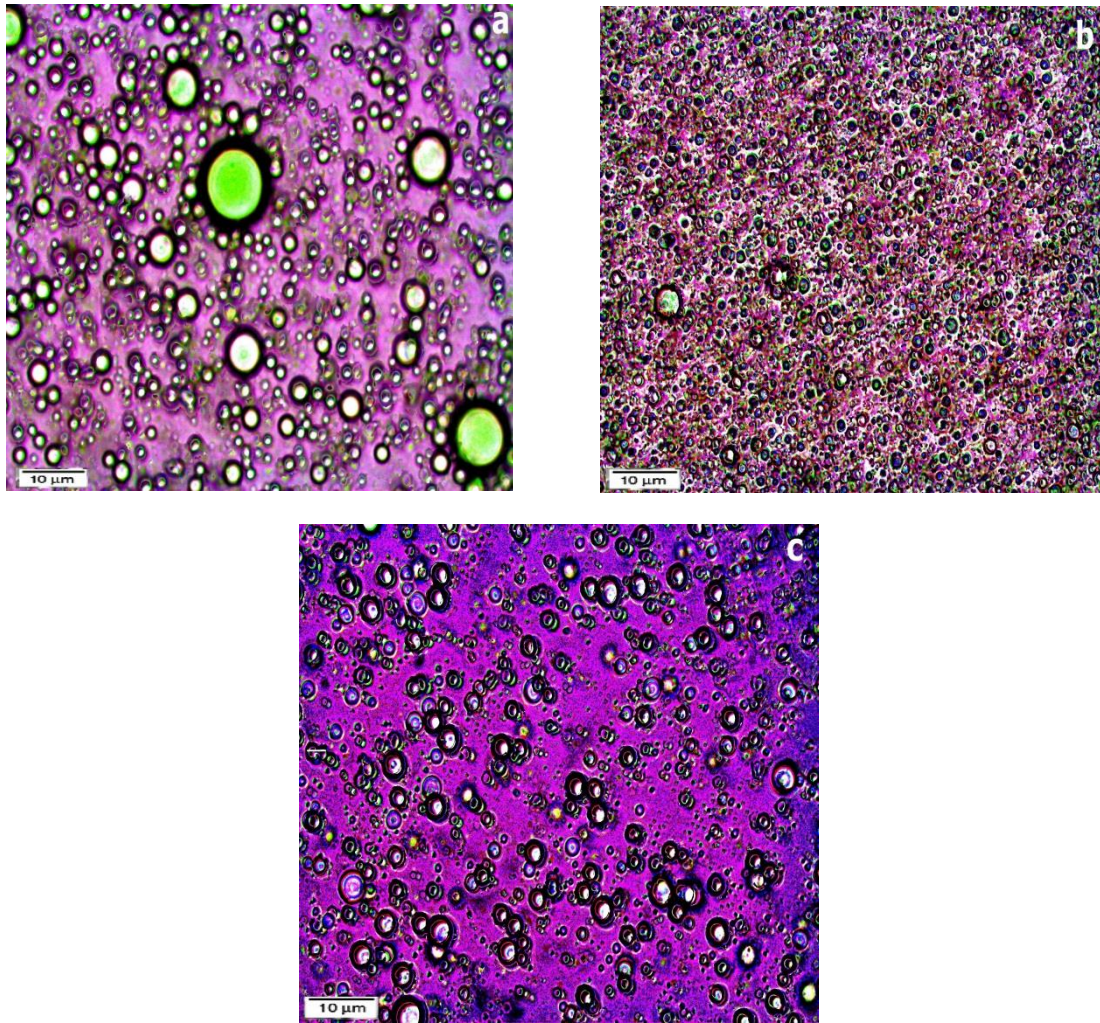
**Πίνακας 5.5:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των αρωματικών συστατικών για εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων ομογενοποίησης του γαλακτώματος τροφοδοσίας\*

Αρωματικά Συστατικά	Μέθοδος Ομογενοποίησης <sup>1</sup>		
	Ο	ΟΔ	Υ
	MEY (%)		
1. Isoamyl-acetate	24±2 <sup>a</sup>	34±3 <sup>a</sup>	45±8 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	28±2 <sup>a</sup>	39±3 <sup>b</sup>	43±3 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	39±3 <sup>a</sup>	46±5 <sup>b</sup>	65±2 <sup>c</sup>
4. Anisaldehyde	48±4 <sup>a</sup>	63±5 <sup>b</sup>	86±2 <sup>c</sup>
5. Vanillin	51±4 <sup>a</sup>	59±7 <sup>a</sup>	90±2 <sup>b</sup>
	SCC (%)		
1. Isoamyl-acetate	0.8±0.1 <sup>a</sup>	0.7±0.2 <sup>a</sup>	1.2±0.2 <sup>a</sup>
2. Benzaldehyde	0.7±0.2 <sup>a</sup>	0.8±0.2 <sup>a</sup>	1.1±0.3 <sup>a</sup>
3. Benzyl-acetate	0.9±0.1 <sup>a</sup>	1.1±0.2 <sup>a</sup>	1.5±0.2 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	1.2±0.2 <sup>a</sup>	1.2±0.1 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>b</sup>
5. Vanillin	1.6±0.1 <sup>a</sup>	1.3±0.2 <sup>a</sup>	2.7±0.5 <sup>b</sup>
	MEE (%)		
1. Isoamyl-acetate	96.7±0.1	97.8±0.4	97.3±0.6
2. Benzaldehyde	97.4±0.4	98.0±0.3	97.4±0.5
3. Benzyl-acetate	97.6±0.0	97.7±0.2	97.8±0.3
4. Anisaldehyde	97.6±0.2	98.2±0.0	98.2±0.0
5. Vanillin	96.9±0.0	97.7±0.2	97.1±0.5

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των αρωματικών συστατικών εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 2:1, περιεκτικότητα flavon ίση με 20 % επί των στερεών και Τεισόδου ίση με 160 °C.

<sup>1</sup>Ο: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας, ΟΔ: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος, Υ: Υπέρηχοι



*Εικόνα 5.2: Μικροσκοπικές εικόνες (σε 100x μεγέθυνση) γαλακτωμάτων στα οποία εφαρμόστηκαν διαφορετικές μέθοδοι ομογενοποίησης. (α) Ο, (β) Υ και (γ) ΟΔ.*

### **Προσθήκη γαλακτωματοποιητή σε συνδυασμό με εφαρμογή υπερήχων**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν στον Πίνακα 5.6 γίνεται φανερό ότι μέγιστες αποδόσεις μικροεγκλεισμού για όλα τα αρωματικά συστατικά επιτυγχάνονται όταν εφαρμοστεί ομογενοποίηση με χρήση υπερήχων, τόσο παρουσία όσο και απουσία Tween καθώς δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων .

Εξετάζοντας τις τιμές της επιφανειακής περιεκτικότητας των αρωματικών συστατικών στα διαφορετικά τελικά προϊόντα φαίνεται ότι η εφαρμογή υπερήχων είχε ως αποτέλεσμα αύξηση αυτών, ενώ αντίθετα παρουσία Tween 20 (0.5 % επί των στερεών) παρατηρήθηκε μείωση. Συγκεκριμένα, μέγιστες τιμές επιφανειακής περιεκτικότητας για όλα τα αρωματικά συστατικά, οι οποίες κυμάνθηκαν από 1 – 3 %, σημειώθηκαν στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων απουσία Tween , ενώ ακολούθησαν αυτές της περίπτωσης εφαρμογής υπερήχων παρουσία Tween και τέλος οι μικρότερες τιμές για όλα τα συστατικά, εκτός από τον οξικό ισοαμλεστέρα και την βενζαλδεΐδη των οποίων οι τιμές δεν παρουσίασαν στατιστικά

σημαντική διαφορά στην περίπτωση εφαρμογής Tween με ή χωρίς υπερήχους , παρατηρήθηκαν όταν εφαρμόστηκε αποκλειστικά Tween .

Ωστόσο, η τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όλων των συστατικών και στις δύο περιπτώσεις επίτευξης μέγιστης απόδοσης μικροεγκλεισμού, δηλαδή κατά την εφαρμογή υπερήχων με ή χωρίς την προσθήκη Tween 20, είναι μεγαλύτερη του 90 % (Πίνακας 5.6) με αποτέλεσμα και οι δύο μέθοδοι να κρίνονται εξίσου αποτελεσματικές στην διεργασία μικροεγκλεισμού του αρώματος κεράσι.

**Πίνακας 5.6:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των αρωματικών συστατικών για εφαρμογή υπερήχων σε συνδυασμό ή μη με Tween 20\*

Αρωματικά Συστατικά	Σύνθεση γαλακτώματος <sup>1</sup>		
	TN	TY	Y
	MEY (%)		
1. Isoamyl-acetate	27±3 <sup>a</sup>	43±6 <sup>b</sup>	45±8 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	33±3 <sup>a</sup>	42±5 <sup>b</sup>	43±3 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	46±1 <sup>a</sup>	64±3 <sup>b</sup>	65±2 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	59±4 <sup>a</sup>	83±5 <sup>b</sup>	86±2 <sup>b</sup>
5. Vanillin	68±6 <sup>a</sup>	88±4 <sup>b</sup>	90±2 <sup>b</sup>
	SCC (%)		
1. Isoamyl-acetate	0.3±0.0 <sup>a</sup>	0.6±0.2 <sup>a</sup>	1.2±0.2 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	0.4±0.0 <sup>a</sup>	0.6±0.2 <sup>a</sup>	1.1±0.3 <sup>b</sup>
3. Benzyl-acetate	0.5±0.1 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>	1.5±0.2 <sup>c</sup>
4. Anisaldehyde	0.2±0.0 <sup>a</sup>	0.9±0.1 <sup>b</sup>	1.6±0.1 <sup>c</sup>
5. Vanillin	0.7±0.0 <sup>a</sup>	1.3±0.2 <sup>b</sup>	2.7±0.5 <sup>c</sup>
	MEE (%)		
1. Isoamyl-acetate	98.8±0.1	98.5±0.2	97.3±0.6
2. Benzaldehyde	98.9±0.0	98.6±0.2	97.4±0.5
3. Benzyl-acetate	98.9±0.1	98.7±0.1	97.8±0.3
4. Anisaldehyde	99.7±0.0	98.9±0.0	98.2±0.0
5. Vanillin	99.0±0.1	98.5±0.1	97.1±0.5

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των αρωματικών συστατικών εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 2:1, περιεκτικότητα flavor ίση με 20 % επί των στερεών και Τεισόδου ίση με 160 °C.

<sup>1</sup> TN: Tween 20 (0.5% επί των στερεών) και Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας , TY: Tween 20 (0.5% επί των στερεών) και Υπέρηχοι, Y: Υπέρηχοι

## Επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου κατά την διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων συνθηκών παραγωγής του γαλακτώματος τροφοδοσίας, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση μικροεγκλεισμού, σε συνδυασμό με τη μικρότερη δυνατή περιεκτικότητα επιφανειακού ενεργού συστατικού, υπάρχουν και άλλες παράμετροι που θα πρέπει να εξεταστούν οι οποίες αφορούν τις συνθήκες λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκασμό. Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών εισόδου, συγκεκριμένα των 140, 160 και 180 °C, στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.7, οι χαμηλότερες αποδόσεις μικροεγκλεισμού, σχεδόν για όλα τα αρωματικά συστατικά, παρατηρήθηκαν για θερμοκρασία εισόδου ίση με 180 °C, ενώ ακολούθησαν οι αποδόσεις για τους 140 και 160 °C, χωρίς ωστόσο, για την πλειονότητα των αρωματικών συστατικών, να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο αυτών θερμοκρασιών. Πιο αναλυτικά, η αύξηση της απόδοσης του οξικού βενζυλεστέρα, της ανυσαλδεΐδης και της βανιλίνης, όπως και η μείωση της απόδοσης του οξικού ισοαμυλεστέρα που παρατηρήθηκαν στους 160 °C, συγκριτικά με εκείνες των 140 °C, δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, ενώ η απόδοση της βενζαλδεΐδης φάνηκε να μην μεταβάλλεται σημαντικά για τις διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου. Τα αποτελέσματα αυτά, δηλαδή ότι αυξάνοντας τη θερμοκρασία εισόδου πέραν μιας βέλτιστης τιμής σημειώνεται μείωση της απόδοσης μικροεγκλεισμού πτητικών συστατικών, συμφωνούν με εκείνα των ερευνητών Noshad et al. (2015) και Frascareli et al. (2012).

Σχετικά με την επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών στο τελικό προϊόν, οι τιμές όλων των αρωματικών συστατικών στους 160 και τους 180 °C, εκτός της βανιλίνης που δεν σημείωσε σημαντική μεταβολή για τις διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου, είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες που προέκυψαν για τους 140 °C. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για τους 160 και 180 °C, αν και η τιμή της επιφανειακής περιεκτικότητας των περισσότερων αρωματικών συστατικών δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή, οι τιμές του οξικού ισοαμυλεστέρα και του οξικού βενζυλεστέρα είναι χαμηλότερες στην περίπτωση των 160 °C. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα των Bhandari et al. (1992) και Anker and Reineccius (1988), οι οποίοι παρατήρησαν επίσης μείωση της συγκέντρωσης του ενεργού συστατικού στην επιφάνεια αυξανόμενης της θερμοκρασίας εισόδου. Η μείωση της επιφανειακής περιεκτικότητας των συστατικών που παρατηρήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου από τους 140 στους 160 °C θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας εισόδου αυξάνεται και ο ρυθμός ξήρανσης με αποτέλεσμα το σχηματισμό συμπαγούς κρούστας στην επιφάνεια των σταγονιδίων και επομένως μείωση του ρυθμού διάχυσης των συστατικών (Bhandari et al., 1992). Ωστόσο, περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε τελικό προϊόν με ατέλειες στην επιφάνεια των σωματιδίων, λόγω φαινομένων συσσώρευσης ατμού στο εσωτερικό των παραγόμενων σωματιδίων, με αποτέλεσμα εξάτμιση ή αυξημένη επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών (Jafari et al., 2008). Η επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών, ωστόσο, σε κάθε περίπτωση ήταν ιδιαίτερα χαμηλή με τις μέγιστες τιμές να ανέρχονται στο 1 – 2 % με αποτέλεσμα η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού να κυμαίνεται για κάθε διαφορετική θερμοκρασία εισόδου μεταξύ του 94 – 98 % (Πίνακας 5.7).

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπ' όψη τα παραπάνω, οι θερμοκρασίες εισόδου τόσο των 140 °C όσο και των 160 °C κρίνονται εξίσου αποτελεσματικές για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού, ωστόσο η θερμοκρασία των 160 °C επιλέχθηκε ως βέλτιστη λόγω παραγωγής προϊόντος με χαμηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας (Πίνακας 5.8) αλλά και λόγω της παραγωγής μεγαλύτερης ποσότητας εγκλεισμένου προϊόντος καθώς στην περίπτωση των 140 °C μέρος του προϊόντος εναποτίθεντο στα τοιχώματα του θαλάμου ξήρανσης.

**Πίνακας 5.7:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), επιφανειακή περιεκτικότητα (SCC) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των αρωματικών συστατικών για διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου\*

Αρωματικά Συστατικά	Θερμοκρασία εισόδου (°C)		
	140	160	180
	MEY (%)		
1. Isoamyl-acetate	28±3 <sup>b</sup>	24±2 <sup>a,b</sup>	22±2 <sup>a</sup>
2. Benzaldehyde	28±2 <sup>a</sup>	28±2 <sup>a</sup>	24±3 <sup>a</sup>
3. Benzyl-acetate	37±3 <sup>b</sup>	39±3 <sup>b</sup>	32±1 <sup>a</sup>
4. Anisaldehyde	45±3 <sup>a,b</sup>	48±4 <sup>b</sup>	40±1 <sup>a</sup>
5. Vanillin	47±3 <sup>a,b</sup>	51±4 <sup>b</sup>	45±1 <sup>a</sup>
	SCC (%)		
1. Isoamyl-acetate	1.6±0.1 <sup>c</sup>	0.8±0.1 <sup>a</sup>	1.0±0.1 <sup>b</sup>
2. Benzaldehyde	1.4±0.0 <sup>b</sup>	0.7±0.2 <sup>a</sup>	1.0±0.2 <sup>a</sup>
3. Benzyl-acetate	1.7±0.2 <sup>c</sup>	0.9±0.1 <sup>a</sup>	1.2±0.1 <sup>b</sup>
4. Anisaldehyde	1.9±0.3 <sup>b</sup>	1.2±0.2 <sup>a</sup>	1.3±0.2 <sup>a</sup>
5. Vanillin	1.4±0.1 <sup>a</sup>	1.6±0.1 <sup>a</sup>	1.5±0.3 <sup>a</sup>
	MEE (%)		
1. Isoamyl-acetate	94.3±0.3	96.7±0.1	95.3±0.3
2. Benzaldehyde	95.2±0.4	97.4±0.4	95.9±0.2
3. Benzyl-acetate	95.5±0.1	97.6±0.0	96.3±0.2
4. Anisaldehyde	95.7±0.3	97.6±0.2	96.8±0.4
5. Vanillin	96.9±0.1	96.9±0.0	96.7±0.7

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των αρωματικών συστατικών εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 2:1 και περιεκτικότητα flavor ίση με 20 % επί των στερεών και ως μέθοδος ομογενοποίησης εφαρμόστηκε ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας.

### 5.1.3.2 Περιεχόμενη υγρασία τελικού προϊόντος

Το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας είναι ενδεικτικό της αποτελεσματικότητας της διεργασίας ξήρανσης και καθοριστικό για την σταθερότητα και κατ' επέκταση του χρόνου ζωής (shelf life) του τελικού προϊόντος. Η τιμές της περιεχόμενης υγρασίας των τελικών προϊόντων δίνονται στον Πίνακα 5.8.

Όσον αφορά την αναλογία των φορέων, παρατηρήθηκε ότι αυξανόμενης της συγκέντρωσης του κόμματος στο γαλάκτωμα αυξήθηκε και η περιεχόμενη υγρασία. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τη μελέτη των Pellicer et al. (2018) οι οποίοι παρατήρησαν την ίδια συμπεριφορά στα προϊόντα με υψηλότερη συγκέντρωση αραβικού κόμματος. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του αρώματος κεράσι δεν φάνηκε να επηρεάζει το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας, αντίθετα με την περίπτωση προσθήκης Tween 20 κατά την οποία η υγρασία της σκόνης σημείωσε σημαντική μείωση, συγκριτικά με εκείνη το κεντρικού πειράματος. Σχετικά με την εφαρμοζόμενη μέθοδο ομογενοποίησης, το τελικό προϊόν που εμφάνισε το χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας ήταν εκείνο του γαλακτώματος στο οποίο εφαρμόστηκαν υπέρηχοι, ακολούθησε η ομογενοποίηση με διαίρεση και τέλος η εφαρμογή του ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας χωρίς διαίρεση. Το γεγονός αυτό σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος των σωματιδίων του γαλακτώματος, δηλαδή μείωση του μεγέθους των σωματιδίων συνεπάγεται μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του προϊόντος (Jafari et al., 2007). Στην περίπτωση που η εφαρμογή υπέρηχων συνδυάστηκε με την προσθήκη Tween 20 δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας

συγκριτικά με τις περιπτώσεις που εφαρμόστηκαν μόνο υπέρηχοι ή Tween 20 . Εξετάζοντας την επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα κατά την ξήρανση με ψεκασμό, όπως ήταν αναμενόμενο, αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε σε μείωση της υγρασίας του τελικού προϊόντος .

**Πίνακας 5.8:** Ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας τελικού προϊόντος για διαφορετικές συνθήκες παραγωγής γαλακτώματος τροφοδοσίας και λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκασμό

<b>Παράμετροι</b>				
Αναλογία (MD:GA) <sup>1</sup>	1:0	3:1	2:1	1:1
Περιεχόμενη υγρασία (%)	3.1±0.3 <sup>a</sup>	4.3±0.5 <sup>b</sup>	5.1±0.3 <sup>c</sup>	6.2±0.3 <sup>d</sup>
Περιεκτικότητα flavor (%) επί των στερεών) <sup>2</sup>	10	20		
Περιεχόμενη υγρασία (%)	5.7±0.5 <sup>a</sup>	5.1±0.3 <sup>a</sup>		
Περιεκτικότητα Tween (%) επί των στερεών) <sup>3</sup>	0.5	0		
Περιεχόμενη υγρασία (%)	3.0±0.2 <sup>a</sup>	5.1±0.3 <sup>b</sup>		
Μέθοδος ομογενοποίησης <sup>4</sup>	O	OΔ	Y	
Περιεχόμενη υγρασία (%)	5.1±0.3 <sup>a</sup>	3.4±0.3 <sup>b</sup>	2.9±0.1 <sup>c</sup>	
Tween 20, Υπέρηχοι <sup>5</sup>	TN	Y	TY	
Περιεχόμενη υγρασία (%)	3.0±0.2 <sup>a</sup>	2.9±0.1 <sup>a</sup>	3.2±0.3 <sup>a</sup>	
Θερμοκρασία εισόδου (°C) <sup>6</sup>	140	160	180	
Περιεχόμενη υγρασία (%)	6.4±0.2 <sup>a</sup>	5.1±0.3 <sup>b</sup>	4.5±0.0 <sup>c</sup>	

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

O: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας, OΔ: Ομογενοποιητής υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος, Y: Υπέρηχοι, TN: Tween 20, TY: Tween 20 και Υπέρηχοι

<sup>1</sup>flavor 20 %, Tween 20 0 %, ομογενοποίηση O, Τεισόδου= 160 °C

<sup>2</sup>MD:GA: 2:1, Tween 20 0 %, ομογενοποίηση O, Τεισόδου= 160 °C

<sup>3</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1, ομογενοποίηση O, Τεισόδου= 160 °C

<sup>4</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1, Tween 20 0 %, Τεισόδου= 160 °C

<sup>5</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1, Tween 20 0 %, ομογενοποίηση O

<sup>6</sup>flavor 20 %, MD:GA: 2:1, Τεισόδου= 160 °C

### 5.1.3.3 Σταθερότητα προϊόντος εγκλεισμού

Προκειμένου να εξεταστεί η σταθερότητα του προϊόντος εγκλεισμού του αρώματος κεράσι εξετάστηκαν ύστερα από έξι μήνες από την πραγματοποίηση των πειραμάτων η απόδοση και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών στα προϊόντα που παράχθηκαν με εφαρμογή των βέλτιστων συνθηκών, δηλαδή για αναλογία φορέων MD:GA ίση με 2:1, συγκέντρωση αρώματος ίση με 20 % επί των στερεών, εφαρμογή υπερήχων σε συνδυασμό ή μη με Tween 20 και θερμοκρασία εισόδου ίση με 160 °C.

Η απελευθέρωση του αρώματος από τη σκόνη μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται με τους μηχανισμούς διάχυσης τόσο του αρώματος όσο και του νερού, καθώς η διαλυτοποίηση του τοιχώματος των σωματιδίων μικροεγκλεισμού από το νερό έχει ως αποτέλεσμα απελευθέρωση του ενεργού συστατικού. Δηλαδή το άρωμα παραμένει προστατευμένο όσο

η δομή της κάψουλας παραμένει αναλλοίωτη. Βέβαια, η σταθερότητα του προϊόντος εγκλεισμού εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες πέραν της σχετικής υγρασίας μεταξύ των οποίων τα χαρακτηριστικά του φορέα εγκλεισμού και του ενεργού συστατικού και το μέγεθος των σωματιδίων τόσο του γαλακτώματος όσο και του προϊόντος εγκλεισμού (Soottitantawat et al., 2004).

Όταν τα αποτελέσματα της απόδοσης μικροεγκλεισμού ύστερα από 6 μήνες συγκριθούν με τα αρχικά όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 5.2α,β γίνεται φανερό ότι με το πέρασ του χρόνου υπήρξε σημαντική μείωση της περιεκτικότητας των αρωματικών συστατικών στο προϊόν εγκλεισμού, ενώ παρατηρήθηκε επίσης και αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Η μείωση αυτή αποδίδεται τόσο στην απώλεια των συστατικών λόγω φαινομένων εξάτμισης όσο και σε φαινόμενα υποβάθμισης των συστατικών με παραγωγή προϊόντων οξειδωσης. Από τα υψηλά ποσοστά της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού συμπεραίνεται ότι όσο άρωμα παρέμεινε εντοπίζεται στον πυρήνα της κάψουλας, αλλά είναι επίσης ενδεικτικά της ευαισθησίας των αρωματικών συστατικών στις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς όσο άρωμα απελευθερώνεται στην επιφάνεια ακαριαία υφίσταται φαινόμενα οξειδωσης ή εξάτμισης.

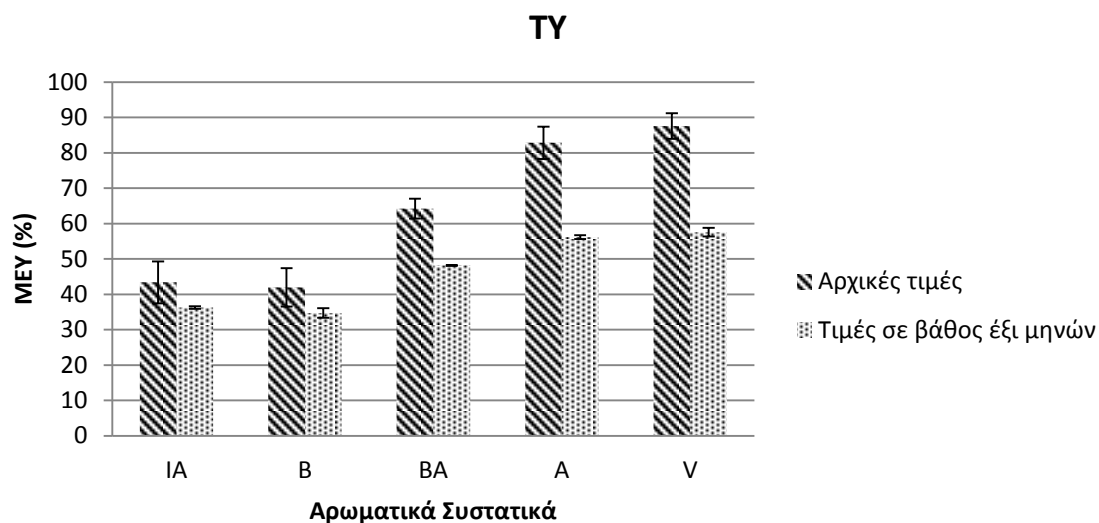
Προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση σχετικά με τη σταθερότητα του προϊόντος μικροεγκλεισμού της παρούσας διπλωματικής μελέτης.

**Πίνακας 5.9:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY), αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) και περιεχόμενη υγρασία προϊόντων εγκλεισμού

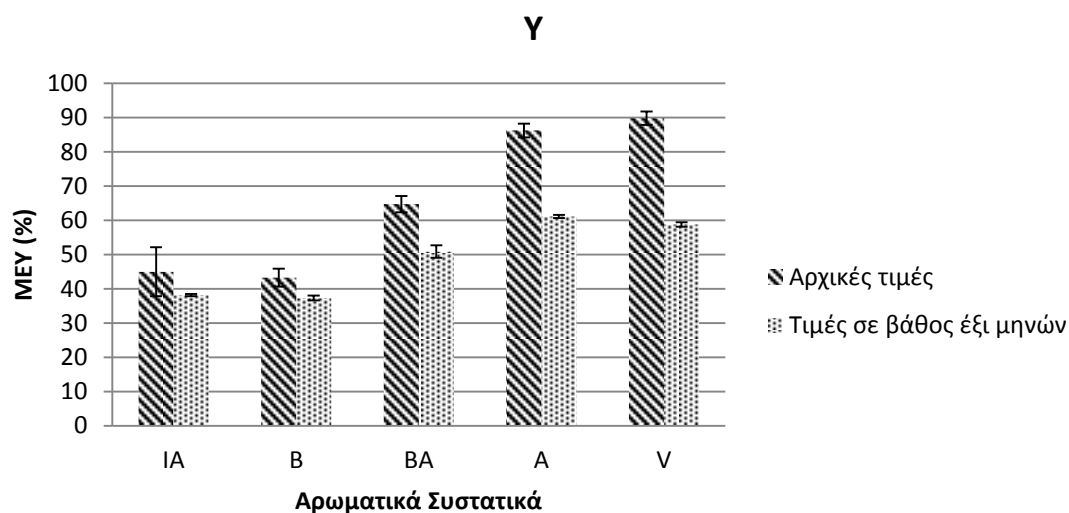
Αρωματικά συστατικά	Σύνθεση γαλακτώματος <sup>a</sup>	
	TY	Y
	MEY (%)	
1. Isoamyl-acetate	36±1	38±0
2. Benzaldehyde	35±1	37±1
3. Benzyl-acetate	48±0	51±2
4. Anisaldehyde	56±1	61±0
5. Vanillin	58±1	59±1
	MEE (%)	
1. Isoamyl-acetate	98.5±0.3	97.7±0.2
2. Benzaldehyde	98.5±0.3	97.7±0.2
3. Benzyl-acetate	98.5±0.3	97.7±0.2
4. Anisaldehyde	98.6±0.2	97.7±0.3
5. Vanillin	99.0±0.1	96.9±0.3
	Περιεχόμενη υγρασία (% επί των στερεών)	
	5.0±0.3	4.4±0.2

<sup>a</sup> TY : Tween 20 και Υπέρηχοι, Y: Υπέρηχοι

(α)



(β)



Διαγράμματα 5.2α.β: Σύγκριση αρχικών τιμών απόδοσης μικροεγκλεισμού (MEY) αρωματικών συστατικών με τις τιμές απόδοσης ύστερα από 6 μήνες αποθήκευσης του τελικού προϊόντος με εφαρμογή υπερήχων σε συνδυασμό (TY) ή μη (Y) με γαλακτωματοποιητή Tween 20

## 5.2 Αποτελέσματα μικροεγκλεισμού φαινολικών συστατικών εκχυλισμάτων δενδρολίβανου

### 5.2.1 Φαινολικά συστατικά που προσδιορίστηκαν

Υδατικά εκχυλίσματα



Τα φαινολικά συστατικά των υδατικών εκχυλισμάτων που προσδιορίστηκαν στο τελικό προϊόν εγκλεισμού ήταν τα φλαβονοειδή και το ροσμαρινικό οξύ. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) με χρήση της μεθόδου ταυτοποίησης Flan όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.3.1.2. Η περιεκτικότητα των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος στο υδατικό εκχύλισμα μεγαλύτερης κλίμακας ήταν 65.531 ppm και 44.682 ppm αντίστοιχα και στο εκχύλισμα πειραματικής κλίμακας ήταν 119.907 ppm και 73.144 ppm αντίστοιχα.

#### *Εκχύλισμα δενδρολίβανου με μίγμα ακετόνης:νερού*

Τα φαινολικά συστατικά του εκχυλίσματος με μίγμα ακετόνης:νερού που προσδιορίστηκαν στο τελικό προϊόν εγκλεισμού ήταν τα φλαβονοειδή, το ροσμαρινικό οξύ και φαινολικά διτερπένια και συγκεκριμένα το καρνοσικό οξύ, η καρνοσόλη και λοιπά φαινολικά διτερπένια. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) με εφαρμογή συνδυασμού των μεθόδων Flan και Carnosic όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.3.1.2. Η περιεκτικότητα των φλαβονοειδών στο εκχύλισμα ήταν 224.712 ppm, του ροσμαρινικού οξέος 103.252 ppm, του καρνοσικού οξέος 60.609 ppm, της καρνοσόλης 13.341 ppm και των λοιπών φαινολικών διτερπένιων 8.987 ppm. Ο λόγος για τον οποίο τα φαινολικά διτερπένια προσδιορίστηκαν στο τελικό προϊόν εγκλεισμού τόσο συνολικά όσο και ξεχωριστά είναι η μετατροπή του καρνοσικού οξέος σε καρνοσόλη κατά την εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας.

## **5.2.2 Χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος**

### **5.2.2.1 Προσδιορισμός Απόδοσης Μικροεγκλεισμού (MEY) και Αποτελεσματικότητας Μικροεγκλεισμού (MEE) των φαινολικών συστατικών για τις διαφορετικές παραμέτρους που εξετάστηκαν**

Δεδομένης της διαφορετικής φύσης των φαινολικών συστατικών συγκριτικά με τα αρωματικά συστατικά του αρώματος κεράσι επιλέχθηκε να εξεταστούν διαφορετικές παράμετροι. Πιο αναλυτικά, δεν εξετάστηκε η προσθήκη γαλακτωματοποιητή και διαφορετικές μέθοδοι ομογενοποίησης καθώς τα φαινολικά συστατικά που παραλήφθηκαν από την εκχύλιση του δενδρολίβανου δεν εμφανίζουν υψηλή πτητικότητα ούτε βρίσκονται σε ελαιώδη μορφή ώστε να απαιτείται ενίσχυση της γαλακτωματοποίησης ή παραγωγή μικρότερου μεγέθους σωματιδίων εγκλεισμού του γαλακτώματος τροφοδοσίας, συνθήκες καθοριστικές για τον επιτυχή μικροεγκλεισμό λιπαρών πτητικών συστατικών με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό.

### **Συγκέντρωση εκχυλίσματος στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας**

Προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη συγκέντρωση υδατικού εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας στο γαλάκτωμα εξετάστηκαν δύο συγκεντρώσεις οι οποίες ήταν οι 10 και 20 % επί των στερεών. Ο φορέας εγκλεισμού που εφαρμόστηκε ήταν η μαλτοδεξτρίνη και η θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης ήταν οι 160 °C.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.9 τόσο οι αποδόσεις όσο και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των συστατικών δε φάνηκε να επηρεάζονται σημαντικά από την μεταβολή της συγκέντρωσης, έτσι, λαμβάνοντας υπ' όψη τον παράγοντα εξοικονόμησης

τόσο χρόνου όσο και πρώτων υλών επιλέχθηκε η εφαρμογή της χαμηλότερης συγκέντρωσης.

**Πίνακας 5.10:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των φαινολικών συστατικών για διαφορετικές συγκεντρώσεις υδατικού εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας\*

Φαινολικά συστατικά	Συγκέντρωση (% επί των στερεών)	
	10	20
	MEY (%)	
Φλαβονοειδή	97±6 <sup>a</sup>	88±8 <sup>a</sup>
Ροσμαρινικό οξύ	96±6 <sup>a</sup>	98±1 <sup>a</sup>
	MEE (%)	
Φλαβονοειδή	96.9±0.4	97.1±0.3
Ροσμαρινικό οξύ	97.2±0.1	97.3±0.2

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των εκχυλισμάτων εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 1:0 και Τεισόδου ίση με 160 °C.

### Αναλογία φορέων εγκλεισμού

Οι αναλογίες μαλτοδεξτρίνης προς αραβικό κόμμι (MD:GA) που εξετάστηκαν στην περίπτωση μικροεγκλεισμού του υδατικού εκχυλίσματος μεγάλης και πειραματικής κλίμακας ήταν οι 1:0, 2:1 και 1:0, 4:1 και 2:1 αντίστοιχα ενώ στην περίπτωση του εκχυλίσματος με μίγμα ακετόνης : νερού (4:1) εξετάστηκαν οι 1:0 και 4:1. Η συγκέντρωση των εκχυλισμάτων στα γαλακτώματα τροφοδοσίας διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 10 % επί των στερεών και η θερμοκρασία εισόδου ήταν 160 °C στην περίπτωση του υδατικού μεγαλύτερης κλίμακας, 140 °C στο υδατικό πειραματικής κλίμακας και 140 °C στην περίπτωση του εκχυλίσματος με μίγμα ακετόνης : νερού.

### Υδατικό εκχύλισμα πειραματικής κλίμακας

Για τις διαφορετικές αναλογίες MD:GA παρατηρήθηκε, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.11, ότι η απόδοση μικροεγκλεισμού τόσο των φλαβονοειδών όσο και του ροσμαρινικού οξέος ευνοήθηκε από την παρουσία του κόμμι, δηλαδή οι υψηλότερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν για τις αναλογίες 4:1 και 2:1, χωρίς να εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά. Την ίδια συμπεριφορά παρουσίασε και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού χωρίς ωστόσο να αποτελεί καθοριστικό κριτήριο επιλογής φορέα καθώς σε κάθε περίπτωση η τιμή της ξεπερνά το 96 %. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα των Ballesteros et al. (2017) οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση της απόδοσης μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος καφέ όταν η μαλτοδεξτρίνη συνδυάστηκε με αραβικό κόμμι σε αναλογία 1:1 συγκριτικά με εφαρμογή αποκλειστικά μαλτοδεξτρίνης ή αραβικού κόμμι. Με βάση τα παραπάνω επιλέχθηκε ως βέλτιστη συνθήκη η εφαρμογή της αναλογίας MD:GA ίση με 4:1 καθώς παρουσίασε υψηλότερη ικανότητα μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε η αναλογία 2:1 παρ' όλο που δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά με τα αποτελέσματα της

αναλογίας 4:1 είναι οικονομικός καθώς το αραβικό κόμμα αποτελεί ακριβή πρώτη ύλη και καταβάλλεται προσπάθεια περιορισμού της χρήσης του.

#### *Υδατικό εκχύλισμα μεγαλύτερης κλίμακας*

Αντίθετα, όταν εξετάστηκε η εφαρμογή διαφορετικής αναλογίας φορέων για τον μικροεγκλεισμό των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος του υδατικού εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της απόδοσης μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών παρουσία αραβικού κόμματος σε αναλογία MD:GA ίση με 2:1, ενώ η απόδοση του ροσμαρινικού οξέος δεν φάνηκε να επηρεάζεται σημαντικά. Η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού για κάθε αναλογία και συστατικό ξεπέρασε το 96 % (Πίνακας 5.12). Ωστόσο, τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζουν μειωμένη ακρίβεια λόγω σφάλματος αναλυτικής μέτρησης. Προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση με πραγματοποίηση επαναληπτικών πειραμάτων αλλά και εφαρμογή διαφορετικών αναλογιών MD:GA προκειμένου να επιβεβαιωθεί ο ρόλος του αραβικού κόμματος στο μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος.

#### *Εκχύλισμα μίγματος ακετόνης:νερού*

Εξετάζοντας την απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών του εκχυλίσματος ακετόνης : νερού σε αναλογίες φορέων MD:GA ίσες με 1:0 και 4:1 (Πίνακας 5.13) παρατηρήθηκε ότι η παρουσία του κόμματος ευνόησε τη διεργασία μικροεγκλεισμού δίνοντας αυξημένες αποδόσεις όσων αφορά το καρνοσικό οξύ και κατ' επέκταση τα ολικά φαινολικά διτερπένια. Για τα υπόλοιπα συστατικά η παρουσία του κόμματος δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τις τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού. Από τα αποτελέσματα μέτρησης της αποτελεσματικότητας εγκλεισμού παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη κόμματος είχε ως αποτέλεσμα αύξηση των τιμών των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος οι οποίες ωστόσο ήταν και στις δύο περιπτώσεις μεγαλύτερες του 90 % συνεπώς δεν αποτελεί καθοριστικό κριτήριο. Ακόμη, και στις δύο περιπτώσεις η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού της καρνοσόλης, του καρνοσικού οξέος, των λοιπών φαινολικών διτερπενίων και κατ' επέκταση των ολικών φαινολικών διτερπενίων είναι ιδιαίτερα χαμηλή, μόνη εξαίρεση αποτελεί η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού της καρνοσόλης στην περίπτωση εφαρμογής αποκλειστικά μαλτοδεξτρίνης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα προσδιορισμού της περιεκτικότητας της καρνοσόλης στη σκόνη δεν αποτελούν ασφαλές κριτήριο δεδομένου ότι κατά την διεργασία της ξήρανσης μέρος του καρνοσικού οξέος μετατρέπεται σε καρνοσόλη, λόγω εφαρμογής υψηλής θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αυξημένη απόδοση μικροεγκλεισμού χωρίς ωστόσο να αφορά την αρχική ποσότητα καρνοσόλης που περιείχε το εκχύλισμα. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι δεν είναι δυνατή η επιλογή βέλτιστης αναλογίας φορέων καθώς είναι αναγκαία η επίλυση του προβλήματος της χαμηλής αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των φαινολικών διτερπενίων.

Οι χαμηλές τιμές απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των φαινολικών διτερπενίων αποδίδονται στην απώλεια μέρους αυτών κατά την συμπύκνωση του διαλύματος καθώς, κατά την εξάτμιση της ακετόνης, λόγω της αδιαλυτότητάς τους στο νερό, παρατηρήθηκε εναπόθεση ποσότητας αυτών στο τοίχωμα της φιάλης η οποία δεν ήταν δυνατό να ανακτηθεί, αλλά και κατά το στάδιο της παραγωγής του γαλακτώματος δεν επιτεύχθηκε ικανοποιητική ομογενοποίηση με αποτέλεσμα την αδυναμία εγκλεισμού τους στο εσωτερικό της σχηματιζόμενης κάψουλας και τον εντοπισμό τους στην επιφάνεια αυτής. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με την προσθήκη ελαίου στο εκχύλισμα ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη συγκράτηση κατά το στάδιο της συμπύκνωσης

καθώς και καλύτερη γαλακτωματοποίηση, εφαρμόζοντας τις κατάλληλες συνθήκες σύνθεσης του γαλακτώματος τροφοδοσίας, με εγκλεισμό των φαινολικών διτερπενίων στα σταγονίδια του ελαιοδιαλύματος.

**Πίνακας 5.11:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας για διαφορετικές αναλογίες φορέων εγκλεισμού\*

Φαινολικά συστατικά	Αναλογίες (MD:GA)		
	1:0	4:1	2:1
	MEY (%)		
<b>140 °C<sup>1</sup></b>			
Φλαβονοειδή	79±4 <sup>a</sup>	96±8 <sup>b</sup>	91±3 <sup>b</sup>
Ροσμαρινικό οξύ	85±4 <sup>a</sup>	100±3 <sup>b</sup>	99±0 <sup>b</sup>
	MEE (%)		
Φλαβονοειδή	96.6±0.2	97.2±0.5	97.6±0.2
Ροσμαρινικό οξύ	96.5±0.2	96.6±1.5	97.4±0.3

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των εκχυλισμάτων εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος) και περιεκτικότητα εκχυλίσματος ίση με 10 % επι των στερεών.

<sup>1</sup> Θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης

**Πίνακας 5.12:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας για διαφορετικές αναλογίες φορέων εγκλεισμού\*

Φαινολικά συστατικά	Αναλογίες (MD:GA)	
	1:0	2:1
	MEY (%)	
<b>160 °C<sup>1</sup></b>		
Φλαβονοειδή	97±6 <sup>a</sup>	84±5 <sup>b</sup>
Ροσμαρινικό οξύ	96±6 <sup>a</sup>	99±0 <sup>a</sup>
	MEE (%)	
Φλαβονοειδή	96.9±0.4	98.9±0.1
Ροσμαρινικό οξύ	97.2±0.1	97.6±0.6

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των εκχυλισμάτων εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος) και περιεκτικότητα εκχυλίσματος ίση με 10 % επι των στερεών.

<sup>1</sup> Θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης

**Πίνακας 5.13:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (MEY) και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (MEE) των φαινολικών συστατικών του εκχυλίσματος μίγματος ακετόνης : νερού για διαφορετικές αναλογίες φορέων \*

Φαινολικά συστατικά	Αναλογίες (MD:GA)	
	1:0	4:1
	MEY (%)	
<b>140 °C<sup>1</sup></b>		
Ροσμαρινικό οξύ	99±0 <sup>a</sup>	100±1 <sup>a</sup>
Φλαβονοειδή	89±3 <sup>a</sup>	86±0 <sup>a</sup>
Καρνοσικό οξύ	58±1 <sup>a</sup>	62±1 <sup>b</sup>
Καρνοσόλη	93±7 <sup>a</sup>	98±2 <sup>a</sup>
Λοιπά φαινολικά διτερπένια	68±5 <sup>a</sup>	67±1 <sup>a</sup>
Ολικά φαινολικά διτερπένια	65±1 <sup>a</sup>	69±0 <sup>b</sup>
	MEE (%)	
Ροσμαρινικό οξύ	92.4±0.0 <sup>a</sup>	95.1±0.5 <sup>b</sup>
Φλαβονοειδή	90.1±0.3 <sup>a</sup>	91.8±0.2 <sup>b</sup>
Καρνοσικό οξύ	26.4±2.8 <sup>a</sup>	31.8±0.1 <sup>b</sup>
Καρνοσόλη	64.5±3.9 <sup>a</sup>	43.5±2.1 <sup>b</sup>
Λοιπά φαινολικά διτερπένια	35.2±4.6 <sup>a</sup>	37.7±0.8 <sup>a</sup>
Ολικά φαινολικά διτερπένια	36.3±0.2 <sup>a</sup>	35.1±0.5 <sup>b</sup>

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των εκχυλισμάτων εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος) και περιεκτικότητα εκχυλίσματος ίση με 10 % επι των στερεών.

<sup>1</sup> Θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης

### Θερμοκρασία εισόδου αέρα ξήρανσης

Σε γενικές γραμμές εφαρμόζονται σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες εισόδου κατά τον μικροεγκλεισμό φαινολικών συστατικών συγκριτικά με τον μικροεγκλεισμό αρωματικών συστατικών, κυρίως μεταξύ 120 και 160 °C, προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια της αντιοξειδωτικής τους δράσης λόγω φαινομένων αλλοίωσης, χωρίς ωστόσο να αποκλείονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου καθώς η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας εξαρτάται και από παράγοντες όπως το είδος του φορέα εγκλεισμού, τη συγκέντρωση του στο γαλακτώμα τροφοδοσίας αλλά και της αναλογίας του προς το ενεργό συστατικό.

Οι θερμοκρασίες εισόδου του αέρα ξήρανσης που εξετάστηκαν στην περίπτωση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος του υδατικού εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας ήταν οι 160 και 140 °C, διατηρώντας σταθερή την αναλογία MD:GA και ίση με 4:1 όπως και τη συγκέντρωση του εκχυλίσματος στα γαλακτώματα τροφοδοσίας η οποία ήταν 10 % επί των στερεών.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.14, τόσο η απόδοση όσο και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος δεν παρουσίασε σημαντική διαφορά με αύξηση της θερμοκρασίας από τους 140 στους 160 °C. Συνεπώς και οι δύο θερμοκρασίες είναι εξίσου κατάλληλες για τον μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος, ωστόσο για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας επιλέχθηκε ως καταλληλότερη η εφαρμογή της χαμηλότερης θερμοκρασίας εισόδου, δηλαδή οι 140 °C.

**Πίνακας 5.14:** Απόδοση μικροεγκλεισμού (ΜΕΥ) και Αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού (ΜΕΕ) των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας για διαφορετική θερμοκρασία εισόδου\*

Φαινολικά συστατικά	Θερμοκρασία εισόδου (°C)	
	140	160
	<b>ΜΕΥ (%)</b>	
Φλαβονοειδή	96±8 <sup>a</sup>	97±0 <sup>a</sup>
Ροσμαρινικό οξύ	100±3 <sup>a</sup>	100±4 <sup>a</sup>
	<b>ΜΕΕ (%)</b>	
Φλαβονοειδή	97.2±0.5	97.4±0.2
Ροσμαρινικό οξύ	96.6±1.5	97.9±0.1

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

\*Για το μικροεγκλεισμό των εκχυλισμάτων εφαρμόστηκε σταθερή συγκέντρωση στερεών ίση με 30 % (g στερεών / 100 g γαλακτώματος), αναλογία MD:GA ίση με 4:1 και περιεκτικότητα εκχυλίσματος ίση με 10 % επι των στερεών.

### 5.2.2.2 Περιεχόμενη υγρασία τελικού προϊόντος

Απαραίτητη προϋπόθεση διατήρησης και σταθερότητας των φαινολικών συστατικών αποτελεί η ελάχιστη δυνατή περιεχόμενη υγρασία στην παραγόμενη σκόνη μικροεγκλεισμού. Όπως παρατηρήθηκε κατά το μικροεγκλεισμό του αρώματος κεράσι, επίσης στην περίπτωση μικροεγκλεισμού των εκχυλισμάτων δενδρολίβανου η παρουσία του αραβικού κόμμεος στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας χωρίς ωστόσο να αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα διότι σε κάθε περίπτωση η περιεχόμενη υγρασία δε ξεπέρασε το 5 % (Πίνακας 5.15). Η συγκέντρωση του εκχυλίσματος δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας. Αντίθετα, η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα ξήρανσης από τους 140 στους 160 °C οδήγησε σε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας η οποία ωστόσο και στις δύο θερμοκρασίες κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα (3 - 5 %).

**Πίνακας 5.15:** Ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας τελικού προϊόντος για διαφορετικές συνθήκες παραγωγής γαλακτώματος τροφοδοσίας και λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκασμό

<b>Παράμετροι</b>			
<b>Υδατικό εκχύλισμα πειραματικής κλίμακας</b>			
Αναλογία (MD:GA) <sup>1</sup>	1:0	4:1	2:1
Περιεχόμενη υγρασία (%)	3.3±0.0 <sup>a</sup>	4.1±0.0 <sup>b</sup>	4.9±0.2 <sup>c</sup>
Θερμοκρασία εισόδου (°C) <sup>2</sup>	140		160
Περιεχόμενη υγρασία (%)	4.9±0.0 <sup>a</sup>		3.1±0.0 <sup>b</sup>
<b>Υδατικό εκχύλισμα μεγαλύτερης κλίμακας</b>			
Περιεκτικότητα εκχυλίσματος (% επί των στερεών) <sup>3</sup>	10		20
Περιεχόμενη υγρασία (%)	2.8±0.1 <sup>a</sup>		2.9±0.0 <sup>a</sup>
Αναλογία (MD:GA) <sup>4</sup>	1:0		2:1
Περιεχόμενη υγρασία (%)	2.8±0.1 <sup>a</sup>		3.9±0.0 <sup>b</sup>
<b>Εκχύλισμα με μίγμα ακετόνης : νερού</b>			
Αναλογία (MD:GA) <sup>5</sup>	1:0		4:1
Περιεχόμενη υγρασία (%)	3.5±0.2 <sup>a</sup>		3.9±0.0 <sup>a</sup>

Τα αποτελέσματα με διαφορετικό γράμμα στη θέση του εκθέτη στην ίδια σειρά παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά.

<sup>1</sup>Περιεκτικότητα εκχυλίσματος 10 %, Τεισόδου= 140 °C

<sup>2</sup> Περιεκτικότητα εκχυλίσματος 10 %, MD:GA: 4:1

<sup>3</sup>MD:GA: 1:0, Τεισόδου= 160 °C

<sup>4</sup> Περιεκτικότητα εκχυλίσματος 10 %, Τεισόδου= 160 °C

<sup>5</sup> Περιεκτικότητα εκχυλίσματος 10 %, Τεισόδου= 140 °C

## 6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών μικροεγκλεισμού σε φορείς μαλτοδεξτρίνη (MD) και αραβικό κόμμι (GA) των αρωματικών συστατικών οξικός ισοαμλεστεράς (IA), βενζαλδεΐδη (B), οξικός βενζυλεστεράς (BA), βανιλίνη (V) και ανισαλδεΐδη (A) του συνθετικού αρώματος κεράσι και των φαινολικών συστατικών εκχυλίσματος δενδρολίβανου, τα οποία στην περίπτωση του υδατικού εκχυλίσματος ήταν τα φλαβονοειδή και το ροσμαρινικό οξύ και στην περίπτωση του εκχυλίσματος με μίγμα ακετόνη : νερό ήταν τα φλαβονοειδή, το ροσμαρινικό οξύ, η καρνοσόλη, το καρνοσικό οξύ και λοιπά φαινολικά διτερπένια για τις οποίες επιτεύχθηκε μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού αυτών στο τελικό προϊόν εγκλεισμού.

Δεδομένου ότι τα δύο κύρια στάδια της διεργασίας μικροεγκλεισμού με εφαρμογή ξήρανσης με ψεκασμό είναι η παραγωγή του γαλακτώματος τροφοδοσίας και η εν συνέχεια ξήρανση αυτού προς παραγωγή σκόνης, η μελέτη εστίασε στην επίδραση των διαφορετικών συνθηκών σύστασης και σχηματισμού του γαλακτώματος καθώς και λειτουργίας του ξηραντήρα. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν χαρακτηριστικά του γαλακτώματος, όπως το φαινόμενο ιξώδες, και ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Οι αναλύσεις - μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο προϊόν εγκλεισμού πραγματοποιήθηκαν ώστε να προσδιοριστούν η περιεχόμενη υγρασία, η απόδοση μικροεγκλεισμού, η οποία προσδιορίστηκε από τη σχέση  $[(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στη μικροκάψουλα}] / [(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στο γαλάκτωμα}] * 100$ , και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού, η οποία προσδιορίστηκε από τη σχέση  $[(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στον πυρήνα της μικροκάψουλας}] / [(g \text{ ενεργού συστατικού} / g \text{ στερεών}) \text{ στη μικροκάψουλα}] * 100$ , μεγέθη τα οποία τελικά καθόρισαν τις βέλτιστες συνθήκες μικροεγκλεισμού για καθένα από τα συστατικά που μελετήθηκαν στη παρούσα έρευνα.

### **Μικροεγκλεισμός αρώματος κεράσι**

Όσον αφορά το μικροεγκλεισμό του αρώματος κεράσι ιδιαίτερη βάση δόθηκε στις συνθήκες σύστασης και παραγωγής του γαλακτώματος τροφοδοσίας. Αρχικά, εξετάστηκε η αναλογία των φορέων εγκλεισμού δηλαδή της μαλτοδεξτρίνης προς το αραβικό κόμμι (MD:GA) για τιμές 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1. Παρατηρήθηκε ότι μέγιστη απόδοση μικροεγκλεισμού σχεδόν για όλα τα αρωματικά συστατικά επιτεύχθηκε για τα γαλακτώματα με υψηλότερη περιεκτικότητα αραβικού κόμμεος, με το γεγονός αυτό να αποδίδεται στις καλύτερες γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες αυτού και στη δημιουργία διαλυμάτων υψηλότερου ιξώδους, η αύξηση του οποίου φάνηκε να ευνοεί την διεργασία εγκλεισμού λόγω του ταχύτερο σχηματισμού ημιπερατής μεμβράνης κατά τη διεργασία ξήρανσης και κατ' επέκταση υψηλότερης συγκράτησης των πτητικών αρωματικών συστατικών. Ως βέλτιστη αναλογία επιλέχθηκε η 2:1 καθώς πέραν της σχετικά αυξημένης αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών συγκριτικά με εκείνες της αναλογίας 1:1 είναι ακόμη οικονομικά ασύμφορη η αυξημένη χρήση του αραβικού κόμμεος. Οι διαφορετικές τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών



οφείλονται στα διαφορετικά μοριακά βάρη και σημεία βρασμού με τα πιο βαριά και λιγότερο πτητικά συστατικά να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές. Ακόμη οι πολύ χαμηλές τιμές επιφανειακής περιεκτικότητάς και η ακόλουθη ιδιαίτερα υψηλή αποτελεσματικότητα εγκλεισμού των αρωματικών συστατικών αποδίδεται στην απώλεια τους λόγω εξάτμισης κατά την διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό καθώς η επιφάνεια των δημιουργούμενων σωματιδίων κατά την ατομοποίηση βρίσκεται εκτεθειμένη σε θερμοκρασίες υψηλότερες του σημείου βρασμού αρκετών από τα εξεταζόμενα αρωματικά συστατικά. Διατηρώντας τη βέλτιστη αναλογία εξετάστηκαν οι ιδιότητες του τελικού προϊόντος όταν στο γαλάκτωμα προστέθηκαν διαφορετικές συγκεντρώσεις του αρώματος κεράσι και συγκεκριμένα για περιεκτικότητες 10 % και 20 % επί των στερεών. Αύξηση της συγκέντρωσης είχε ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της απόδοσης μικροεγκλεισμού σχεδόν όλων των αρωματικών συστατικών ενώ η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού δε φάνηκε να επηρεάζεται από τη μεταβολή της συγκέντρωσης. Όταν στις βέλτιστες συνθήκες αναλογίας (2:1) και συγκέντρωσης (20 % επί των στερεών) εξετάστηκε η προσθήκη Tween 20 (0.5 % επί των στερεών), με σκοπό την αύξηση της γαλακτωματοποιητικής ικανότητας του γαλακτώματος, τα αποτελέσματα υπήρξαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά με τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος να βελτιώνονται σημαντικά. Συγκεκριμένα, η απόδοση μικροεγκλεισμού αυξήθηκε σημαντικά για τρία από τα πέντε αρωματικά συστατικά ενώ η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών σημείωσε αύξηση. Η τελευταία παράμετρος που εξετάστηκε σχετικά με το γαλάκτωμα τροφοδοσίας ήταν η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την ομογενοποίηση αυτού. Τόσο στην παρούσα όσο και σε πολυάριθμες ερευνητικές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η εφαρμοζόμενη μέθοδος ομογενοποίησης είναι καθοριστική για τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος λόγω των χαρακτηριστικών που προσδίδει στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας με βασικότερο το μέγεθος των σωματιδίων αυτού. Έχει παρατηρηθεί ότι υψηλότερη συγκράτηση πτητικών συστατικών επιτυγχάνεται για γαλακτώματα με μικρότερο μέγεθος σωματιδίων, λόγω δημιουργίας σταθερότερων, υψηλότερου ιξώδους γαλακτωμάτων, γεγονός το οποίο επιβεβαιώθηκε και στην παρούσα διπλωματική. Πιο αναλυτικά, η μέθοδος ομογενοποίησης για την οποία επιτεύχθηκε μέγιστη απόδοση μικροεγκλεισμού ήταν αυτή που παρήγαγε τα μικρότερα σωματίδια και συγκεκριμένα η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), ενώ ακολούθησε η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος και χρήση του μικρότερου στελέχους (ΟΔ) και τέλος η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας χωρίς διαίρεση (Ο) (Εικόνα 5.2). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί και στην αύξηση του ιξώδους με τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων (Πίνακας 5.2). Παρατηρήθηκε, επίσης, ότι η μείωση του μεγέθους των παραγόμενων σωματιδίων είχε ως αποτέλεσμα αύξηση και της επιφανειακής περιεκτικότητας των αρωματικών συστατικών χωρίς ωστόσο να αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα καθώς ακόμη και στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων οι τιμές αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών ήταν μεγαλύτερες του 97 %. Όταν η εφαρμογή υπερήχων συνδυάστηκε με προσθήκη Tween 20 (0.5 % επί των στερεών) η απόδοση μικροεγκλεισμού σχεδόν για όλα τα συστατικά δε μεταβλήθηκε σημαντικά και η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού σημείωσε μικρή αύξηση. Σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας του ξηραντήρα, η παράμετρος που εξετάστηκε ήταν η θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι ιδιότητες του τελικού προϊόντος για τρεις θερμοκρασίες οι οποίες ήταν οι 140, 160 και 180 °C.

Παρατηρήθηκε ότι αύξηση της θερμοκρασίας άνω των 160 °C είχε ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της απόδοσης μικροεγκλεισμού της πλειονότητας των αρωματικών συστατικών, ενώ σε όλες τις θερμοκρασίες η αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού όλων των συστατικών ήταν μεγαλύτερη του 95 %. Τα παραπάνω βασίζονται στο γεγονός ύπαρξης μια βέλτιστης θερμοκρασίας, στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν οι 160 °C, αρκετά υψηλής ώστε να επιταχύνεται η δημιουργία συμπαγούς περιβλήματος γύρω από τα εκνεφωμένα σωματίδια και να επιτυγχάνεται υψηλότερη συγκράτηση των πτητικών συστατικών, όχι όμως τόσο υψηλής ώστε να δημιουργούνται φαινόμενα συσσώρευσης ατμού στο εσωτερικό των σωματιδίων οδηγώντας στην παραγωγή κοίλων, με επιφανειακά ελαττώματα και κατ' επέκταση ασταθών σωματιδίων εγκλεισμού. Αναφορικά με την περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος εγκλεισμού, η τιμή της φάνηκε να εξαρτάται από όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές, εκτός της συγκέντρωσης του αρώματος στο γαλάκτωμα, με τις μικρότερες να σημειώνονται στις περιπτώσεις εφαρμογής γαλακτωματοποιητή, υπερήχων ή και των δύο. Συμπερασματικά, στις βέλτιστες συνθήκες παραγωγής του γαλακτώματος τροφοδοσίας και λειτουργίας του ξηραντήρα με ψεκάσμο, οι οποίες βρέθηκαν για αναλογία MD:GA ίση με 2:1, συγκέντρωση αρώματος κεράσι 20 % επί των στερεών, προσθήκη Tween 20 (0.5 % επί των στερεών), εφαρμογή υπερήχων και θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης τους 160 °C, η μέση τιμή του φαινομένου ιξώδους ήταν 20 mPa.s, η μέση τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού ήταν 43 % για τον οξικό ισοαμυλεστέρα, 42 % για τη βενζαλδεΐδη, 64 % για τον οξικό βενζυλεστέρα, 83 % για την ανισαλδεΐδη και 88 % για τη βανιλίνη, η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών ήταν μεγαλύτερη του 98 % και η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας ανήλθε στο 3.2 %. Όταν τα προϊόντα εγκλεισμού της εφαρμογής των βέλτιστων συνθηκών μικροεγκλεισμού επανεξετάστηκαν ύστερα από έξι μήνες η μέση τιμή της απόδοσης μικροεγκλεισμού ήταν 36 % για τον οξικό ισοαμυλεστέρα, 35 % για τη βενζαλδεΐδη, 48 % για τον οξικό βενζυλεστέρα, 56 % για την ανισαλδεΐδη και 58 % για τη βανιλίνη, η μέση τιμή της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού όλων των αρωματικών συστατικών παρέμεινε μεγαλύτερη του 98 % και η μέση τιμή της περιεχόμενης υγρασίας αυξήθηκε στο 5.5 %. Η απώλεια των συστατικών αποδίδεται στην υψηλή τους ευαισθησία στις περιβαλλοντικές συνθήκες με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων εξάτμισης και οξείδωσης.

### ***Μικροεγκλεισμός φαινολικών συστατικών εκχυλισμάτων δενδρολίβανου***

Κατά το μικροεγκλεισμό των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος που παραλήφθηκαν από την εκχύλιση του δενδρολίβανου με νερό τα αποτελέσματα υπήρξαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά με τη μέση τιμή των αποδόσεων και της αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των συστατικών να ξεπερνάνε το 95 % όταν εφαρμόστηκαν οι βέλτιστες συνθήκες. Σε όλα τα πειράματα η συγκέντρωση των στερεών του γαλακτώματος τροφοδοσίας διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 30 % (g στερεών/ 100 ml νερού). Αρχικά, εξετάστηκε η εφαρμογή διαφορετικής περιεκτικότητας των στερεών του υδατικού εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας στο γαλάκτωμα τροφοδοσίας, συγκεκριμένα 10 και 20 % επί των στερεών, σε φορέα εγκλεισμού μαλτοδεξτρίνη και θερμοκρασία εισόδου 160 °C. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων απόδοσης και αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού με αποτέλεσμα να επιλεγθεί και να εφαρμοστεί σε κάθε επόμενο πείραμα η μικρότερη για λόγους οικονομίας πρώτων υλών και χρόνου. Όταν

στη συνέχεια στις παραπάνω συνθήκες εξετάστηκε η εφαρμογή αραβικού κόμμεος σε αναλογία MD:GA ίση με 2:1 παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών, καθιστώντας καταλληλότερη την εφαρμογή αποκλειστικά μαλτοδεξτρίνης. Ωστόσο, όταν εξετάστηκε η εφαρμογή κόμμεος σε αναλογίες MD:GA 4:1 και 2:1 κατά τον μικροεγκλεισμό των φλαβονοειδών του εκχυλίσματος πειραματικής κλίμακας προέκυψαν αντικρουόμενα αποτελέσματα καθώς οι σκόνες που προέκυψαν με προσθήκη κόμμεος παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις μικροεγκλεισμού, ενώ η αποτελεσματικότητα αν και παρουσίασε υψηλότερες τιμές στην περίπτωση προσθήκης παρ' όλα αυτά σε κάθε περίπτωση ήταν ιδιαίτερα υψηλή. Δεδομένης της μικρότερης διαθεσιμότητας του εκχυλίσματος μεγαλύτερης κλίμακας και της επόμενης πραγματοποίησης μικρότερου αριθμού πειραμάτων συγκριτικά με το εκχύλισμα πειραματικής κλίμακας καθώς και τη μειωμένη ακρίβεια των αποτελεσμάτων λόγω σφαλμάτων των αναλυτικών μετρήσεων προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση των συνθηκών μικροεγκλεισμού του ώστε να διαλευκανθεί ο ρόλος του αραβικού κόμμεος στο μικροεγκλεισμό των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος. Επιλέγοντας ως βέλτιστη αναλογία φορέων μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών του υδατικού εκχυλίσματος την MD:GA 4:1 εξετάστηκε η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα εισόδου του ξηραντήρα με ψεκασμό από τους 140 στους 160 °C η οποία δε φάνηκε να επηρεάζει την διεργασία. Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της θερμοκρασίας εισόδου στο μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών θα πρέπει να εξεταστεί σε μεγαλύτερο εύρος, μικρότερων και μεγαλύτερων, θερμοκρασιών. Καθώς και οι δύο θερμοκρασίες κρίθηκαν εξίσου κατάλληλες για το μικροεγκλεισμό των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος, κριτήριο επιλογής μεταξύ των δύο θα μπορούσε να αποτελέσει το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας το οποίο στην περίπτωση των 160 °C είναι σημαντικά χαμηλότερο. Ωστόσο, δεδομένου ότι και τα δύο ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας θα μπορούσε να επιλεγεί η χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου, δηλαδή οι 140 °C.

Όσον αφορά το μικροεγκλεισμό των φαινολικών συστατικών του εκχυλίσματος με μίγμα ακετόνης:νερού, πιο συγκεκριμένα των φλαβονοειδών, του ροσμαρινικού οξέος και φαινολικών διτερπενίων, δηλαδή του καρνοσοικού οξέος, της καρνοσόλης και λοιπών φαινολικών διτερπενίων, εξετάστηκε σε σταθερή περιεκτικότητα στερεών εκχυλίσματος ίση με 10 % (επί των στερεών) και θερμοκρασία εισόδου 140 °C, η εφαρμογή αποκλειστικά μαλτοδεξτρίνης και ο συνδυασμός της με αραβικό κόμμι σε αναλογία MD:GA 4:1. Και στις δύο περιπτώσεις η απόδοση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών και του ροσμαρινικού οξέος ήταν εξίσου υψηλή, ενώ η απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών διτερπενίων ήταν συγκριτικά χαμηλότερη και ελαφρώς υψηλότερη στην περίπτωση προσθήκης κόμμεος. Εξετάζοντας την αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των συστατικών, επίσης όσον αφορά τα φαινολικά και τα φλαβονοειδή σημειώθηκαν ιδιαίτερα υψηλές τιμές σε αντίθεση με τα φαινολικά διτερπένια για τα οποία σημειώθηκαν χαμηλές τιμές αποτελεσματικότητας και για τις δύο περιπτώσεις φορέων εγκλεισμού. Οι χαμηλές τιμές απόδοσης μικροεγκλεισμού αποδίδονται στην απώλεια μέρους αυτών κατά το στάδιο της συμπύκνωσης του εκχυλίσματος λόγω της αδιαλυτότητάς τους στο νερό με αποτέλεσμα την εναπόθεση στα τοιχώματα της φιάλης συμπύκνωσης και η αδυναμία παραλαβής τους καθώς δεν ενδείκνυται η εφαρμογή οργανικού διαλύτη στο ξηραντήρα με ψεκασμό που

χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές αποτελεσματικότητας μικροεγκλεισμού των φαινολικών διτερπενίων οφείλονται στην αδυναμία ικανοποιητικής ομογενοποίησης του γαλακτώματος τροφοδοσίας λόγω της ύπαρξης αδιάλυτων στερεών. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα μπορούσε να είναι η προσθήκη ελαίου στο εκχύλισμα κατά το στάδιο της συμπύκνωσης, προκειμένου να επιτευχθεί η συγκράτηση των αδιάλυτων στο νερό στερεών, και η εφαρμογή των κατάλληλων συνθηκών για τον μικροεγκλεισμό του διαλυμένου σε λιπαρό πλέον ενεργού συστατικού.

Ως συνέχεια της παρούσας ερευνητικής μελέτης προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση των συνθηκών εγκλεισμού πτητικών συστατικών όπως το άρωμα κεράσι κυρίως όσον αφορά την επιλογή του φορέα εγκλεισμού. Θα μπορούσε να εξεταστεί η αντικατάσταση του αραβικού κόμμεος από πιο οικονομικούς, λιγότερο δυσεύρετους ή ακόμη πιο καινοτόμους φορείς υδατανθρακικής ή πρωτεϊνικής φύσης οι οποίοι θα μπορούσαν να εφαρμοστούν αμιγώς ή ως μίγμα. Ακόμη, σε μια επόμενη έρευνα θα μπορούσαν να μελετηθούν επιπλέον ιδιότητες του προϊόντος μικροεγκλεισμού η σταθερότητα αυτού με το πέρασ του χρόνου, δηλαδή ο βαθμός προστασίας του ενεργού συστατικού από φαινόμενα αλλοίωσης και κατ' επέκταση ο χρόνος ζωής του, αλλά και ο ρυθμός και οι μηχανισμοί απελευθέρωσης του ενεργού συστατικού για ποικίλες συνθήκες χρήσης. Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μελέτη της ενσωμάτωσης του προϊόντος εγκλεισμού σε συστήματα τροφίμων ή ακόμη και καλλυντικών, η υλοποίηση δηλαδή του απώτερου σκοπού, και η ποιοτική εκτίμηση αυτών.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adamiec, J. and Kalembe, D. (2006). Analysis of Microencapsulation Ability of Essential Oils during Spray Drying. *Drying Technology*, 24(9), 1127–1132.

Anker, M. H. and Reineccius, G.A. (1988). Encapsulated orange oil - influence of spray-dryer air temperatures on retention and shelf-life. *ACS Symposium Series*, 370, 78-86.

Bae, E. K. and Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation*, 25(8), 549–560.

Baker, C. G. J. (1997). *Industrial Drying of Foods*. Great Britain, Chapman & Hall.

Bangs, W.E. and Reineccius, G.A. (1982). Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavor compounds during spray drying. *Journal of Food Science*, 47(1), 254-259.

Barbosa, M. I. M. J., Borsarelli, C. D. and Mercadante, A. Z. (2005). Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. *Food Research International*, 38(8-9), 989–994.

Bayram, Ö. A., Bayram, M. and Tekin, A. R. (2005). Spray drying of sumac flavor using sodium chloride, sucrose, glucose and starch as carriers. *Journal of Food Engineering*, 69 (2), 253–260.

Beristain, C. I., Garcia, H. S. and Vernon-Carter, E. J. (1999). Mesquite gum (*Prosopis juliflora*) and maltodextrin blends as wall materials for spray-dried encapsulated orange peel oil. *Food Science and Technology International*, 5, 353-356.

Beristain, C. I., García, H. S. and Vernon-Carter, E. J. (2001). Spray-dried Encapsulation of Cardamom (*Elettaria cardamomum*) Essential Oil with Mesquite (*Prosopis juliflora*) Gum. *LWT - Food Science and Technology*, 34(6), 398–401.

Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I. and Lebert, A.M. (1992). Flavor encapsulation by spray drying-application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57 (1), 217-221.

Boonchu, T. and Utama-ang, N. (2013). Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.) pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 783–792.

Bringas-Lantigua, M., Expósito-Molina, I., Reineccius, G. A., López-Hernández, O. and Pino, J. A. (2011). Influence of Spray-Dryer Air Temperatures on Encapsulated Mandarin Oil. *Drying Technology*, 29(5), 520–526.

Bringas-Lantigua, M., Valdés, D. and Pino, J. A. (2012). Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(7), 1511–1517.

Buffo, R. and Reineccius, G. A. (2000). Optimization of gum acacia/modified starches/maltodextrin blends for the spray drying of flavors. *Perfumer and Flavorist*, 25, 37-49.

Bunghez, F., Rotar, A. M., Vodnar, D. C., Catunescu, G. M. and Socaciu, C. (2016). Comparative evaluation of phenolics' profile and recovery in spray dried powders obtained from rosemary and oregano extracts in relation to their antibacterial activity in vitro. *Romanian Biotechnological Letters*, 21, University of Bucharest.

Burgess, D. and Singh, O. (1993). Spontaneous formation of small sized albumin/acacia coacervate particles. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 45(7), 586-591.

Bylaitė, E., Rimantas Venskutonis, P. and Mapdpierienė, R. (2001). Properties of caraway (*Carum carvi* L.) essential oil encapsulated into milk protein-based matrices. *European Food Research and Technology*, 212(6), 661–670.

Cal, K. and Sollohub, K. (2010). Spray drying technique. I: hardware and process parameters. *Journal of Pharmaceutical Science*, 99, 575-586.

Çam, M., İçyer, N. C. and Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 117–123.

Charve, J. and Reineccius, G. A. (2009). Encapsulation Performance of Proteins and Traditional Materials for Spray Dried Flavors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(6), 2486–2492.

Chattopadhyaya, S. (1998). Oxidised starch as gum arabic substitute for encapsulation of flavors. *Carbohydrate Polymers*, 37(2), 143–144.

Chranioti, C. and Tzia, C. 2013. Binary mixtures of modified starch, maltodextrin and chitosan as efficient encapsulating agents of fennel oleoresin. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11), 3238-3246.

Da Costa, J. M. G., Silva, E. K., Toledo Hijo, A. A. C., Azevedo, V. M., Malta, M. R., Ferreira Alves, J. G. L. and Borges, S. V. (2015). Microencapsulation of Swiss cheese bioaroma by spray-drying: Process optimization and characterization of particles. *Powder Technology*, 274, 296–304.

Danviriyakul, S., McClements, D.J., Decker, E., Nawar, W.W. and Chinachoti, P. (2002). Physical stability of spray-dried milk fat emulsion as affected by emulsifiers and processing conditions. *Journal of Food Science*, 67(6), 2183-2189.

De Oliveira, M. A., Maia, G. A., de Figueiredo, R. W., de Souza, A. C. R., de Brito, E. S. and de Azeredo, H. M. C. (2009). Addition of cashew tree gum to maltodextrin-based carriers for spray drying of cashew apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(3), 641–645.

- Desai, K. G. H. and Park, H. J. (2005a). Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, 22(2), 179–192.
- Desai, K. G. H. and Park, H. J. (2005b). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23 (7), 1361-1394.
- Desobry, S. A., Netto, F. M. and Labuza, T. P. (1997). Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for  $\beta$ -carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*, 62, 1158-1162.
- Desobry, S. A., Netto, F. M. and Labuza, T. P. (1997). Comparison of Spray-drying, Drum-drying and Freeze-drying for  $\beta$ -Carotene Encapsulation and Preservation. *Journal of Food Science*, 62(6), 1158–1162.
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23, 473-1482.
- Dordevic, V., Balanc, B., Belscak-Cvitanovic, A., Levic, S., Trifkovic, K., Kalusevic, A., Kostic, I., Komes, D., Bugarski, B. and Nedovic, V. (2014). Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Engineering Reviews*, 7 (4), 452–490.
- Dziezak, J.D. (1988). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42 (4), 136–141.
- Elez Garofulić, I., Zorić, Z., Pedisić, S. and Dragović-Uzelac, V. (2017). Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. *LWT - Food Science and Technology*, 83, 110–117.
- Ersus, S. and Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805–812.
- Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2017). A Key for the Future of the Flavors in Food Industry. *Nanotechnology Applications in Food*, 1–19
- Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V. and Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101, 524–532.
- Filkova, I., Huang, L. X. and Mujumdar, A.S. (2015). Industrial spray drying systems. In: *Handbook of Industrial Drying* (edited by A.S. Mujumdar), 4th edn. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Finney, J., Buffo, R. and Reineccius, G.A. (2002). Effects of type of atomization and processing temperatures on the physical properties and stability of spray-dried flavors.
- Frascareli, E. C., Silva, V. M., Tonon, R. V. and Hubinger, M. D. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3), 413–424.

Gabas, A. L., Telis, V. R. N., Sobral, P. J. A. and Telis-Romero, J. (2007). Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82 (2), 246-252.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.

Gianfrancesco, A., Turchiuli, C., Flick, D. and Dumoulin, E. (2010). CFD Modeling and Simulation of Maltodextrin Solutions Spray Drying to Control Stickiness. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6), 946–955.

Godshall, M. A. (1997). How carbohydrates influence food flavor. *Journal of Food Technology*, 51, 63-67.

Gong, Z., Zhang, M., Mujumdar, A. S. and Sun, J. (2008). Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder. *Drying Technology: An International Journal*, 26, 116-121.

Goubet, I., Le Quere, J. L. and Voiley, A. J. (1998). Retention of aroma compounds by carbohydrates: Influence of their physicochemical characteristics and of their physical state: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1981-1990.

Goubet, I., Le Quere, J. L. and Voiley, A. J. 1998. Retention of aroma compounds by carbohydrates: Influence of their physicochemical characteristics and of their physical state: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1981-1990.

Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. (2005). Spray-drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66, 35-42.

Guaadaoui, A., Benaicha, S., Elmajdoub, N., Bellaoui, M. and Hamal, A. (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 174-179.

Gupta, S., Khan, S., Muzafar, M., Kushwaha, M., Yadav, A. K. and Gupta, A. P. (2016). Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food. *Encapsulations*, 229–268.

Hayashi, H. (1989). Drying technologies of foods—their history and future. *Drying Technology: An International Journal*, 7, 315–369.

Huynh, T. V., Caffin, N., Dykes, G. A. and Bhandari, B. (2008). Optimization of the Microencapsulation of Lemon Myrtle Oil Using Response Surface Methodology. *Drying Technology*, 26(3), 357–368.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y. and Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26, 816-835.



Jafari, S. M., Beheshti, P. and Assadpoor, E. (2012). Rheological behaviour and stability of D-limonene emulsions made by a novel hydrocolloid (Angum gum) compared with Arabic gum. *Journal of Food Engineering*, 109, 1-8.

Jafari, S. M., He, Y. and Bhandari, B. (2007). Encapsulation of Nanoparticles of d-Limonene by Spray Drying: Role of Emulsifiers and Emulsifying Techniques. *Drying Technology*, 25(6), 1069–1079.

Jimenez, M., Garcia, H. S. and Beristain, C. I. (2004). Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *European Food Research and Technology*, 219(6), 588–592.

Jun-xia, X., Hai-yan, Y. and Jian, Y. (2011). Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. *Food Chemistry*, 125(4), 1267–1272..

Kanakdande, D., Bhosale, R. and Singhal, R. S. (2007). Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67, 536-541.

Kenyon, M. M. and Anderson, R. J. (1988). Maltodextrins and low-dextrose equivalence corn syrup solids: production and technology for the flavor industry. In: *Flavor Encapsulation* (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius). Washington, DC: American Chemical Society, p. 7-12.

Kenyon, M. M. and Anderson, R. J. (1988). Maltodextrins and low-dextrose equivalence corn syrup solids: production and technology for the flavor industry. In: *Flavor Encapsulation* (edited by S.J. Risch & G.A. Reineccius). Washington, DC: American Chemical Society, p. 7-12.

King, C. J. (1995). Spray-drying-retention of volatile compounds revisited. *Drying Technology*, 13 (5), 1221-1240.

Krishnaiah, D., Sarbatly, R. and Nithyanandam, R. (2012). Microencapsulation of Morinda citrifolia L. extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(5), 622–632.

Krishnan, S., Bhosale, R. and Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61, 95-102.

Kshirsagar, A. C. and Singhal, R. S. (2007). Optimization of starch oleate derivatives from native corn and hydrolyzed corn starch by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 69, 455-461.

Lesmes, U. and McClements, D. J. (2009). Structure–function relationships to guide rational design and fabrication of particulate food delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 448–457.

Liu, X.-D., Atarashi, T., Furuta, T., Yoshii, H., Aishima, S., Ohkawara, M. and Linko, P. (2001). MICROENCAPSULATION OF EMULSIFIED HYDROPHOBIC FLAVORS BY SPRAY DRYING. *Drying Technology*, 19(7), 1361–1374.

Madene, A., Jacquot, M., Scher J. and Desobry, S. (2006). Review Flavor encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1-21.

Masters, K. (1991). *Spray Drying Handbook*. Essex, Longman Scientific & Technical.

McNamee, B.F., O’Riordan, E. and O’Sullivan, M. (1998). Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4551-4555.

McNamee, B.F.; O’Riordan, E.D.; O’Sullivan, M. Effect of partial replacement of gum Arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001, 49 (7), 3385–3388.

Mezger, G.T. (2006). *The Rheology Handbook: For Users of Rotational and Oscillatory Rheometers*. 2<sup>nd</sup> revised edition. Vincentz Network GmbH & Co. KG, Hannover .

Minemoto, Y., Hakamata, K., Adachi, S. and Matsuno, R. (2002). Oxidation of linoleic acid encapsulated with gum arabic or maltodextrin by spray-drying. *Journal of Microencapsulation*, 19(2), 181–189.

Mongenot, N., Charrier, S. and Chalié, P. (2000). Effect of Ultrasound Emulsification on Cheese Aroma Encapsulation by Carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(3), 861–867.

Murugesan, R. and Orsat, V. (2011). Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (1), 3-14.

Noshad, M., Mohebbi, M., Koocheki, A. and Shahidi, F. (2015). Microencapsulation of vanillin by spray drying using soy protein isolate-maltodextrin as wall material. *Flavor and Fragrance Journal*, 30(5), 387–391.

Nunes, G. L., Boaventura, B. C. B., Pinto, S. S., Verruck, S., Murakami, F. S., Prudêncio, E. S. and de Mello Castanho Amboni, R. D. (2015). Microencapsulation of freeze concentrated *Ilex paraguariensis* extract by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 151, 60–68.

Obon, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M. and Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471–479.

Oneda, F. and Ré, M. . (2003). The effect of formulation variables on the dissolution and physical properties of spray-dried microspheres containing organic salts. *Powder Technology*, 130(1-3), 377–384.

- Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A. A., Lagazzo, A., Botter, R. and Perego, P. (2015). Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 177–186.
- Pang, S. F., Yusoff, M. M. and Gimbut, J. (2014). Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. *Food Hydrocolloids*, 37, 159–165.
- Pasrija, D., Ezhilarasi, P. N., Indrani, D. and Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 289–296.
- Pellicer, J. A., Fortea, M. I., Trabal, J., Rodríguez-López, M. I., Carazo-Díaz, C., Gabaldón, J. A. and Núñez-Delicado, E. (2018). Optimization of the microencapsulation of synthetic strawberry flavor with different blends of encapsulating agents using spray drying. *Powder Technology*, 338, 591–598.
- Pettinato, M., Aliakbarian, B., Casazza, A. A. and Perego, P. (2017). Encapsulation of Antioxidants from Spent Coffee Ground Extracts by Spray Drying. *AIDIC – Chemical Engineering Transactions*, vol. 57, 1219-1224.
- Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E. J. and Beristain, C. I. (2010). Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2-3), 253–258.
- Quek, S. Y., Chok, N. K. and Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386–392.
- Rascón, M. P., Beristain, C. I., García, H. S. and Salgado, M. A. (2011). Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolate as wall materials. *LWT - Food Science and Technology* 44:549-557.
- Ray, S., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83.
- Reineccius, G.A. (1991). Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technology*, 454 (45) 144-147.
- Reineccius, G.A. (2001). Multiple-core encapsulation; The spray drying of food ingredients. In *Microencapsulation of Food Ingredients*, Vilstrup, P., Ed, Leatherhead Food RA Publishing.
- Reineccius, G.A. (2004). The spray drying of food flavors. *Drying Technology* , 22 (6),1289-1324.
- Reineccius, G.A. and Coulter, S.T. (1969). Flavor retention during drying. *Journal of Dairy Science*, 52 (8), 1219-23.

Risch, S. J. (1995). Encapsulation: Overview of uses and techniques, *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients* (S. J. Risch and G. A. Reineccius, eds.), ACS Symposium Series No. 590, American Chemical Society, Washington, DC, p. 2.

Risch, S. J. and Reineccius, G. A. (1988). Spray-dried orange oil-effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability. *ACS Symposium Series*, 370, 67-77.

Rodrigues, R. A. F. and Grosso, C. R. F. (2008). Cashew gum microencapsulation protects the aroma of coffee extracts. *Journal of Microencapsulation*, 25(1), 13–20.

Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A. and Abud-Archila, M. (2005). Spray-Drying of Cactus Pear Juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the Physicochemical Properties of Powder and Reconstituted Product. *Drying Technology*, 23(4), 955–973.

Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38 (5), 1288-1294.

Roustapour, O. R., Hosseinalipour, M., Ghobadian, B., Mohaghegh, F. and Azad, N. M. (2009). A proposed numerical–experimental method for drying kinetics in a spray dryer. *Journal of Food Engineering*, 90 (1), 20–26.

Saifullah, M., Islam Shishir, M. R., Ferdowsi, R., Tanver Rahman, M. R. and Van Vuong, Q. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 230-251.

Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J. A., Calderas, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Ochoa-Martinez, L.A. and Bernad M. J. (2015). Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 571–577.

Seisun, D. (2002). Market overview. In P. A. Williams, & G. O. Phillips (Eds.), *Gums and stabilisers for the food industry*, 11, 3-9. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Shahidi, F. and Han, X.Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33 (6), 501-547.

Shaikh, J., Bhosale, R. and Singhal, R. (2006). Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chemistry*, 94(1), 105–110.

Shamaei, S., Seiedlou, S. S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., and Kharaghani, A. (2017). Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 101–112.

Shiga, H., Yoshii, H., Ohe, H., Yasuda, M., Furuta, T., Kuwahara, H., Ohkawara, M. and Linko, P. (2004). Encapsulation of Shiitake (*Lenthinus Edodes*) Flavors by Spray Drying. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 68(1), 66-71.

Shu, B., Yu, W., Zhao, Y. and Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664–669.

Silva, V. M., Vieira, G. S. and Hubinger, M. D. (2014). Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 61, 132–143.

Sivetz, M. and Foote, H. E. (1963). *Coffee Processing Technology*. AVI Publishing Co.: Westport, CT.

Soottitantawat, A., Bigeard, F., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P. (2005b). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6 (1), 107-114.

Soottitantawat, A., Takayama, K., Okamura, K., Muranaka, D., Yoshii, H. and Furuta, T. (2005a). Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 163-170.

Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohgawara, M., Forssell, P., Partanen, R., Poutanen, K., Linko, P. (2004). Effect of Water Activity on the Release Characteristics and Oxidative Stability of Limonene Encapsulated by Spray Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1269–1276.

Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. and Linko, P. (2003). Microencapsulation by spray drying: Influence of emulsion size on the retention of volatile compounds. *Journal of Food Science*, 68 (7), 2256-2262.

Tan, L. H., Chan, L. W. and Heng, P. W. S. (2008). Alginate/starch composites as wall material to achieve microencapsulation with high oil loading. *Journal of Microencapsulation*, 26(3), 263–271.

Teixeira, M. I., Andrade, L. R., Farina, M. and Rocha-Leão, M. H. M. (2004). Characterization of short chain fatty acid microcapsules produced by spray drying. *Materials Science and Engineering: C*, 24(5), 653–658.

Tengse, D. D., Priya, B. and Kumar, P. A. R. (2016). Optimization for encapsulation of green tea (*Camellia sinensis* L.) extract by spray drying technology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1), 85–92.

Tonon, R. V., Brabet, C. and Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418.

Tonon, R. V., Brabet, C. and Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914.

Tonon, R. V., Grosso, C. R. F. and Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282–289.

Trubiano, P. C. and Lacourse, N. L. (1988). Emulsion-Stabilizing Starches. *Flavor Encapsulation*, 45–54.

Uddin, M. S., Hawlader, M. N. A. and Zhu, H. J. (2001). Microencapsulation of ascorbic acid: effect of process variables on product characteristics. *Journal of Microencapsulation*, 18(2), 199–209.

Voilley, A. J. (1995). Flavor encapsulation-influence of encapsulation media on aroma retention during drying. In *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*, 590,169-179.

Wandrey, C., Bartkowiak, A. and Harding, S. E. (2009). Materials for Encapsulation. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, 31–100.

Watanabe, Y., Fang, X., Adachi, S., Fukami, H. and Matsuno, R. (2004). Oxidation of 6-O-arachidonoyl l-ascorbate microencapsulated with a polysaccharide by spray-drying. *LWT - Food Science and Technology*, 37(4), 395–400.

Woo, M. W., Daud, W. R. W., Tasirin, S. M. and Talib, M. Z. M. (2009). Controlling food powder deposition in spray dryers: Wall surface energy manipulation as an alternative. *Journal of Food Engineering*, 94(2), 192–198.

Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X.-D., Atarashi, T., Furuta, T. and Aishima, S. (2001). Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 55-61.

Zilberboim, R., Kopelman, I. J. and Talmon, Y. (1986). Microencapsulation by a dehydrating liquid: Retention of paprika oleoresin and aromatic esters. *Journal of Food Science*, 51, 1301-1306.

Zuidam, N. J. and Shimoni, E. (2010). *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, 2, 3-31.

## Παράρτημα

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με διαφορετικές αναλογίες μαλτοδεξτρίνης προς αραβικό κόμμα (MD:GA).

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1 δίνονται ως MD: 100, 75, 67 και 50 αντίστοιχα.

### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	455,899	3	151,966	25,684	,000
	Within Groups	47,334	8	5,917		
	Total	503,232	11			
B	Between Groups	384,641	3	128,214	14,786	,001
	Within Groups	69,371	8	8,671		
	Total	454,012	11			
BA	Between Groups	666,273	3	222,091	13,411	,002
	Within Groups	132,480	8	16,560		
	Total	798,753	11			
A	Between Groups	742,689	3	247,563	14,976	,001
	Within Groups	132,244	8	16,531		
	Total	874,933	11			
V	Between Groups	275,881	3	91,960	7,882	,009
	Within Groups	93,337	8	11,667		
	Total	369,218	11			

Πίνακας 1: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες

### IA

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	11,1337	
75,00	3	14,7226	
67,00	3		24,3739
50,00	3		25,5517
Sig.		,108	,570

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 2: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

**B**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	15,9713	
75,00	3	17,0718	
50,00	3		27,4769
67,00	3		28,1394
Sig.		,659	,790

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 3: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

**BA**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	20,3586	
75,00	3	24,3033	
50,00	3		34,1577
67,00	3		38,9783
Sig.		,269	,185

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 4: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

**A**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
100,00	3	28,8902		
75,00	3	29,6251		
50,00	3		38,7275	
67,00	3			48,2260
Sig.		,830	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 5: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας



**V**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
75,00	3	40,0863	
100,00	3	40,2749	
50,00	3		48,5120
67,00	3		50,7610
Sig.		,948	,443

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 6: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1 δίνονται ως MD: 100, 75, 67 και 50 αντίστοιχα.

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	3,270	3	1,090	17,112	,001
	Within Groups	,510	8	,064		
	Total	3,780	11			
B	Between Groups	2,929	3	,976	7,258	,011
	Within Groups	1,076	8	,135		
	Total	4,005	11			
BA	Between Groups	4,823	3	1,608	16,056	,001
	Within Groups	,801	8	,100		
	Total	5,624	11			
A	Between Groups	8,155	3	2,718	17,178	,001
	Within Groups	1,266	8	,158		
	Total	9,421	11			
V	Between Groups	8,128	3	2,709	16,123	,001
	Within Groups	1,344	8	,168		
	Total	9,472	11			

Πίνακας 7: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες.

**IA**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
100,00	3	,2010		
75,00	3		,7006	
67,00	3		,7983	
50,00	3			1,6527
Sig.		1,000	,648	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

*Πίνακας 8: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας*

**B**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	,2209	
75,00	3	,5215	
67,00	3	,7442	
50,00	3		1,5528
Sig.		,132	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

*Πίνακας 9: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας*

**BA**Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	,3302	
75,00	3	,8487	
67,00	3	,9478	
50,00	3		2,0690
Sig.		,051	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 10: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

**A**

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
100,00	3	,1799		
75,00	3		1,0065	
67,00	3		1,1628	
50,00	3			2,4803
Sig.		1,000	,643	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 11: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

**V**

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100,00	3	,7647	
75,00	3	1,2528	
67,00	3	1,5675	
50,00	3		2,9772
Sig.		,050	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 12: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1 δίνονται ως MD: 100, 75, 67 και 50 αντίστοιχα.

**ANOVA**

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15,835	3	5,278	43,458	,000
Within Groups	,972	8	,121		
Total	16,807	11			

Πίνακας 13: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες.

## H

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
100,00	3	3,0642			
75,00	3		4,2622		
67,00	3			5,0694	
50,00	3				6,2111
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 14: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 3:1, 2:1 και 1:1 δίνονται ως MD: 100, 75, 67 και 50 αντίστοιχα.

## ANOVA

Viscosity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	627,000	3	209,000	119,429	,000
Within Groups	14,000	8	1,750		
Total	641,000	11			

Πίνακας 15: Σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων για διαφορετικές αναλογίες.

## Viscosity

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
100,00	3	5,0000			
75,00	3		12,0000		
67,00	3			16,0000	
50,00	3				25,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 16: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας για διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	28,432	1	28,432	10,469	,032
	Within Groups	10,863	4	2,716		
	Total	39,295	5			
B	Between Groups	73,549	1	73,549	12,876	,023
	Within Groups	22,848	4	5,712		
	Total	96,396	5			
BA	Between Groups	74,532	1	74,532	10,697	,031
	Within Groups	27,871	4	6,968		
	Total	102,403	5			
A	Between Groups	71,108	1	71,108	10,974	,030
	Within Groups	25,919	4	6,480		
	Total	97,026	5			
V	Between Groups	56,856	1	56,856	5,073	,087
	Within Groups	44,826	4	11,207		
	Total	101,682	5			

Πίνακας 17: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της θανιλλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	,769	1	,769	20,259	,011
	Within Groups	,152	4	,038		
	Total	,920	5			
B	Between Groups	,017	1	,017	1,247	,327
	Within Groups	,056	4	,014		
	Total	,073	5			
BA	Between Groups	,387	1	,387	62,403	,001
	Within Groups	,025	4	,006		
	Total	,412	5			
A	Between Groups	,075	1	,075	1,966	,233
	Within Groups	,152	4	,038		
	Total	,227	5			
V	Between Groups	,005	1	,005	,202	,677
	Within Groups	,091	4	,023		
	Total	,095	5			

Πίνακας 18: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι.

### ANOVA

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,556	1	,556	3,523	,134
Within Groups	,631	4	,158		
Total	1,187	5			

Πίνακας 19: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι.

### ANOVA

Viscosity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,500	1	1,500	1,500	,288
Within Groups	4,000	4	1,000		
Total	5,500	5			

Πίνακας 20: Σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων για διαφορετικές συγκεντρώσεις αρώματος κεράσι

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με προσθήκη γαλακτωματοποιητή

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των αρωματικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20.

### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	13,500	1	13,500	2,077	,223
	Within Groups	26,000	4	6,500		
	Total	39,500	5			
B	Between Groups	37,500	1	37,500	5,769	,074
	Within Groups	26,000	4	6,500		
	Total	63,500	5			
BA	Between Groups	73,500	1	73,500	14,700	,019
	Within Groups	20,000	4	5,000		
	Total	93,500	5			
A	Between Groups	170,667	1	170,667	12,047	,026
	Within Groups	56,667	4	14,167		
	Total	227,333	5			
V	Between Groups	433,500	1	433,500	16,673	,015

Within Groups	104,000	4	26,000		
Total	537,500	5			

Πίνακας 21: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα των αρωματικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	,321	1	,321	196,596	,000
	Within Groups	,007	4	,002		
	Total	,327	5			
B	Between Groups	,222	1	,222	17,867	,013
	Within Groups	,050	4	,012		
	Total	,272	5			
BA	Between Groups	,321	1	,321	83,953	,001
	Within Groups	,015	4	,004		
	Total	,336	5			
A	Between Groups	1,391	1	1,391	110,176	,000
	Within Groups	,050	4	,013		
	Total	1,441	5			
V	Between Groups	1,103	1	1,103	176,135	,000
	Within Groups	,025	4	,006		
	Total	1,128	5			

Πίνακας 22: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20.

#### ANOVA

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6,420	1	6,420	105,802	,001
Within Groups	,243	4	,061		
Total	6,663	5			

Πίνακας 23: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή ή μη Tween 20

#### Ομογενοποίηση γαλακτώματος τροφοδοσίας με εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης. Προς διευκόλυνση, οι μέθοδοι ομογενοποίησης, δηλαδή η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (O), η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του

μίγματος (ΟΔ) και η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	651,930	2	325,965	13,642	,006
	Within Groups	143,364	6	23,894		
	Total	795,294	8			
B	Between Groups	373,516	2	186,758	24,272	,001
	Within Groups	46,166	6	7,694		
	Total	419,682	8			
BA	Between Groups	1092,535	2	546,268	44,670	,000
	Within Groups	73,374	6	12,229		
	Total	1165,909	8			
A	Between Groups	2146,221	2	1073,110	75,384	,000
	Within Groups	85,411	6	14,235		
	Total	2231,632	8			
V	Between Groups	2647,226	2	1323,613	63,650	,000
	Within Groups	124,772	6	20,795		
	Total	2771,998	8			

Πίνακας 24: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της θανιλλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης

#### IA

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	24,3739	
2,00	3	33,5610	
3,00	3		45,1743
Sig.		,061	1,000



Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 25: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## B

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	28,1394	
2,00	3		39,3734
3,00	3		43,3536
Sig.		1,000	,129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 26: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## BA

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	38,9783		
2,00	3		46,4509	
3,00	3			65,1732
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 27: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

**A**Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	48,2260		
2,00	3		63,2826	
3,00	3			85,8057
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 28: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

**V**Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	50,7610	
2,00	3	58,6375	
3,00	3		90,4355
Sig.		,079	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 29: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης. Προς διευκόλυνση, οι μέθοδοι ομογενοποίησης, δηλαδή η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (O), η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος (OΔ) και η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	,437	2	,218	2,901	,131
	Within Groups	,451	6	,075		
	Total	,888	8			
B	Between Groups	,246	2	,123	2,909	,131
	Within Groups	,254	6	,042		

	Total	,499	8			
BA	Between Groups	,445	2	,222	6,432	,032
	Within Groups	,207	6	,035		
	Total	,652	8			
A	Between Groups	,322	2	,161	14,010	,005
	Within Groups	,069	6	,011		
	Total	,391	8			
V	Between Groups	3,044	2	1,522	16,847	,003
	Within Groups	,542	6	,090		
	Total	3,586	8			

Πίνακας 30: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης

### IA

Duncan<sup>a</sup>

		Subset for alpha = 0.05
MO	N	1
2,00	3	,7323
1,00	3	,7983
3,00	3	1,2290
Sig.		,076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 31: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

### B

Duncan<sup>a</sup>

		Subset for alpha = 0.05
MO	N	1
1,00	3	,7442
2,00	3	,7959
3,00	3	1,1177
Sig.		,075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 32: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## BA

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	,9478	
2,00	3	1,0538	
3,00	3		1,4633
Sig.		,511	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 33: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## A

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
2,00	3	1,1549	
1,00	3	1,1628	
3,00	3		1,5600
Sig.		,930	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 34: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## V

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
2,00	3	1,3239	
1,00	3	1,5675	
3,00	3		2,6612
Sig.		,359	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 35: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης. Προς διευκόλυνση, οι μέθοδοι ομογενοποίησης, δηλαδή η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (Ο), η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος (ΟΔ) και η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

## ANOVA

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7,924	2	3,962	71,945	,000
Within Groups	,330	6	,055		
Total	8,254	8			

Πίνακας 36: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης

H

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3,00	3	2,8806		
2,00	3		3,3678	
1,00	3			5,0694
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 37: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες που προέκυψε με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης. Προς διευκόλυνση, οι μέθοδοι ομογενοποίησης, δηλαδή η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας (Ο), η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας με διαίρεση του μίγματος (ΟΔ) και η εφαρμογή ομογενοποιητή υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπερήχους (Υ), αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

## ANOVA

Viscosity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30,000	3	10,000	5,714	,022
Within Groups	14,000	8	1,750		
Total	44,000	11			

Πίνακας 38: Σημαντική διαφορά στο φαινόμενο ιξώδες των γαλακτωμάτων με εφαρμογή διαφορετικής μεθόδου ομογενοποίησης

## Viscosity

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	16,0000		
2,00	3	17,0000	17,0000	
3,00	3		19,0000	19,0000
4,00	3			20,0000
Sig.		,382	,101	,382

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 39: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της μεθόδου ομογενοποίησης

## Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με προσθήκη γαλακτωματοποιητή και εφαρμογή υπερήχων

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή Tween και υπερήχων (TY), μόνο Tween (TN) ή μόνο υπερήχων (Y). Προς διευκόλυνση, η εφαρμογή αποκλειστικά Tween, Tween σε συνδυασμό με υπερήχους και αποκλειστικά υπερήχων, αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	597,556	2	298,778	8,845	,016
	Within Groups	202,667	6	33,778		
	Total	800,222	8			
B	Between Groups	176,889	2	88,444	6,922	,028
	Within Groups	76,667	6	12,778		
	Total	253,556	8			
BA	Between Groups	699,556	2	349,778	85,081	,000
	Within Groups	24,667	6	4,111		
	Total	724,222	8			
A	Between Groups	1300,222	2	650,111	48,355	,000
	Within Groups	80,667	6	13,444		
	Total	1380,889	8			
V	Between Groups	904,222	2	452,111	24,963	,001
	Within Groups	108,667	6	18,111		
	Total	1012,889	8			

Πίνακας 40: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή μόνο Tween, Tween και υπερήχων ή μόνο υπερήχων

#### IA

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	27,0000	
2,00	3		43,0000
3,00	3		45,3333
Sig.		1,000	,640

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 41: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

#### B

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	33,0000	
2,00	3		41,6667
3,00	3		43,0000
Sig.		1,000	,664

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 42: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

#### BA

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	46,0000	
2,00	3		64,0000
3,00	3		65,3333
Sig.		1,000	,451

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 43: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

**A**

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	59,0000	
2,00	3		82,6667
3,00	3		86,0000
Sig.		1,000	,308

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 44: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

**V**

Duncan<sup>a</sup>

MO	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	68,0000	
2,00	3		88,0000
3,00	3		90,3333
Sig.		1,000	,527

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 45: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή Tween και υπερήχων (TY), μόνο Tween (TN) ή μόνο υπερήχων (Y). Προς διευκόλυνση, η εφαρμογή αποκλειστικά Tween, Tween σε συνδυασμό με υπερήχους και αποκλειστικά υπερήχων, αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.



## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	1,242	2	,621	8,502	,018
	Within Groups	,438	6	,073		
	Total	1,681	8			
B	Between Groups	,900	2	,450	13,244	,006
	Within Groups	,204	6	,034		
	Total	1,104	8			
BA	Between Groups	1,486	2	,743	31,455	,001
	Within Groups	,142	6	,024		
	Total	1,628	8			
A	Between Groups	2,775	2	1,388	450,630	,000
	Within Groups	,018	6	,003		
	Total	2,794	8			
V	Between Groups	6,009	2	3,005	39,107	,000
	Within Groups	,461	6	,077		
	Total	6,470	8			

Πίνακας 46: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή μόνο Tween, Tween και υπερήχων ή μόνο υπερήχων

## IA

Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	,3358	
2,00	3	,6309	
3,00	3		1,2290
Sig.		,230	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 47: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

**B**Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1,00	3	,3594	
2,00	3	,6013	
3,00	3		1,1177
Sig.		,159	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 48: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

**BA**Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	,4852		
2,00	3		,8143	
3,00	3			1,4633
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 49: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

**A**Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	,2000		
2,00	3		,9030	
3,00	3			1,5600
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 50: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

## V

Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1,00	3	,7101		
2,00	3		1,2995	
3,00	3			2,6612
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 51: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή Tween και υπερήχων (TY), μόνο Tween (TN) ή μόνο υπερήχων (Y). Προς διευκόλυνση, η εφαρμογή αποκλειστικά Tween, Tween σε συνδυασμό με υπερήχους και αποκλειστικά υπερήχων, αναφέρονται ως 1, 2 και 3 αντίστοιχα.

## ANOVA

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,110	2	,055	1,439	,309
Within Groups	,230	6	,038		
Total	,340	8			

Πίνακας 52: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή μόνο Tween, Tween και υπερήχων ή μόνο υπερήχων

## H

Duncan<sup>a</sup>

TU	N	Subset for alpha = 0.05
		1
3,00	3	2,8806
1,00	3	3,0005
2,00	3	3,1511
Sig.		,153

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Πίνακας 53: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της προσθήκης γαλακτωματοποιητή και εφαρμογής υπερήχων ή μη

Λειτουργία ξηραντήρα με ψεκασμό με διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου του αέρα ξήρανσης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης.

### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	40,481	2	20,241	4,420	,066
	Within Groups	27,474	6	4,579		
	Total	67,956	8			
B	Between Groups	35,004	2	17,502	3,443	,101
	Within Groups	30,503	6	5,084		
	Total	65,507	8			
BA	Between Groups	86,079	2	43,040	7,394	,024
	Within Groups	34,924	6	5,821		
	Total	121,004	8			
A	Between Groups	107,165	2	53,583	7,688	,022
	Within Groups	41,821	6	6,970		
	Total	148,986	8			
V	Between Groups	54,700	2	27,350	3,822	,085
	Within Groups	42,934	6	7,156		
	Total	97,634	8			

Πίνακας 54: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

### IA

Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
180,00	3	21,2376	
160,00	3	23,5756	23,5756
140,00	3		26,4241
Sig.		,229	,154

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 55: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**B**Duncan<sup>a</sup>

		Subset for alpha = 0.05
T	N	1
180,00	3	22,9569
140,00	3	26,8276
160,00	3	27,3953
Sig.		,059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 56: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**BA**Duncan<sup>a</sup>

		Subset for alpha = 0.05	
T	N	1	2
180,00	3	30,6461	
140,00	3		35,8022
160,00	3		38,0305
Sig.		1,000	,301

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 57: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**A**Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
180,00	3	38,6282	
140,00	3	43,3152	43,3152
160,00	3		47,0632
Sig.		,073	,133

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 58: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**V**Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
180,00	3	43,3577	
140,00	3	45,3303	45,3303
160,00	3		49,2868
Sig.		,401	,120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 59: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα κάθε αρωματικού συστατικού μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης.

## ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
IA	Between Groups	,973	2	,487	51,115	,000
	Within Groups	,057	6	,010		
	Total	1,030	8			
B	Between Groups	,583	2	,292	17,744	,003
	Within Groups	,099	6	,016		
	Total	,682	8			
BA	Between Groups	,886	2	,443	34,486	,001
	Within Groups	,077	6	,013		
	Total	,963	8			
A	Between Groups	1,065	2	,533	12,142	,008
	Within Groups	,263	6	,044		
	Total	1,329	8			
V	Between Groups	,024	2	,012	,243	,791
	Within Groups	,293	6	,049		
	Total	,317	8			

Πίνακας 60: Σημαντική διαφορά στην επιφανειακή περιεκτικότητα του οξικού ισοαμυλεστέρα (IA), της βενζαλδεΐδης (B), του οξικού βενζυλεστέρα (BA), της ανισαλδεΐδης (A) και της βανιλίνης (V) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

## IA

Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
160,00	3	,7983		
180,00	3		1,0493	
140,00	3			1,5867
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 61: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**B**Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
160,00	3	,7442	
180,00	3	,9929	
140,00	3		1,3637
Sig.		,055	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 62: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**BA**Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
160,00	3	,9478		
180,00	3		1,1749	
140,00	3			1,6970
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 63: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

**A**Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
160,00	3	1,1628	
180,00	3	1,2830	
140,00	3		1,9453
Sig.		,508	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 64: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης



## V

Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05
		1
140,00	3	1,4470
180,00	3	1,4757
160,00	3	1,5675
Sig.		,542

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 65: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης.

## ANOVA

H

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5,542	2	2,771	62,882	,000
Within Groups	,264	6	,044		
Total	5,806	8			

Πίνακας 66: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

## H

Duncan<sup>a</sup>

T	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
180,00	3	4,5011		
160,00	3		5,0694	
140,00	3			6,3754
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Πίνακας 67: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης

Μικροεγκλεισμός φαινολικών συστατικών

Υδατικό εκχύλισμα μεγαλύτερης κλίμακας

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με διαφορετικές συγκεντρώσεις ενεργού συστατικού.

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για συγκεντρώσεις.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RA	Between Groups	3.937	1	3.937	.254	.641
	Within Groups	61.968	4	15.492		
	Total	65.905	5			
FLAV	Between Groups	126.042	1	126.042	2.678	.177
	Within Groups	188.241	4	47.060		
	Total	314.283	5			

Πίνακας 68: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών (FLAV) και του ροσμαρινικού οξέος (RA) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές συγκεντρώσεις.

#### ANOVA

##### MOISTURE

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	.454	1	.454	174.519	.000
	Within Groups	.010	4	.003		
	Total	.464	5			

Πίνακας 69: Σημαντική διαφορά στην περιεχόμενη υγρασία μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με διαφορετικές αναλογίες μαλτοδεξτρίνης προς αραβικό κόμμι (MD:GA).

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0 και 2:1 δίνονται ως MD: 100 και 67 αντίστοιχα.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RA	Between Groups	12.936	1	12.936	.852	.408
	Within Groups	60.721	4	15.180		
	Total	73.657	5			
FLAV	Between Groups	281.946	1	281.946	9.981	.034
	Within Groups	112.996	4	28.249		
	Total	394.942	5			

Πίνακας 70: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών (FLAV) και του ροσμαρινικού οξέος (RA) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0 και 2:1 δίνονται ως MD: 100 και 67 αντίστοιχα

#### ANOVA

##### MOISTURE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.375	1	.375	208.102	.000
Within Groups	.007	4	.002		
Total	.382	5			

Πίνακας 71: Σημαντική διαφορά στην περιεχόμενη υγρασία μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες

#### Υδατικό εκχύλισμα πειραματικής κλίμακας

Παρασκευή γαλακτώματος τροφοδοσίας με διαφορετικές αναλογίες μαλτοδεξτρίνης προς αραβικό κόμμα (MD:GA).

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 4:1 και 2:1 δίνονται ως MD: 100, 80 και 67 αντίστοιχα.

#### RA

##### Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100.00	3	84.4700	
67.00	3		99.2467
80.00	3		100.0000
Sig.		1.000	.755

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Πίνακας 72: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας

#### FLAV

##### Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
100.00	3	79.4167	
67.00	3		90.9000
80.00	3		95.9667
Sig.		1.000	.316

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

*Πίνακας 73: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας*

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA και Duncan Test για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0, 4:1 και 2:1 δίνονται ως MD: 100, 80 και 67 αντίστοιχα.

#### **ANOVA**

##### **MOISTURE**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.699	2	1.849	313.441	.000
Within Groups	.035	6	.006		
Total	3.734	8			

*Πίνακας 74: Σημαντική διαφορά στην περιεχόμενη υγρασία μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες*

#### **MOISTURE**

Duncan<sup>a</sup>

MD	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
100.00	3	3.3200		
80.00	3		4.1300	
67.00	3			4.8900
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

*Πίνακας 75: Κριτήριο διαφοράς (Duncan Test) για τον παράγοντα της αναλογίας*

**Λειτουργία ξηραντήρα με ψεκάσμο με διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου του αέρα ξήρανσης**

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης.

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
FLAV	Between Groups	1.297	1	1.297	.036	.858
	Within Groups	143.313	4	35.828		
	Total	144.610	5			
RA	Between Groups	.000	1	.000	.000	1.000
	Within Groups	60.500	4	15.125		
	Total	60.500	5			

Πίνακας 76: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών (FLAV) και του ροσμαρινικού οξέος (RA) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου αέρα ξήρανσης

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν με εφαρμογή διαφορετικής θερμοκρασίας εισόδου αέρα ξήρανσης.

**ANOVA**

## MOISTURE

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
	Between Groups	17173.500	1	17173.500	192.961	.000
	Within Groups	356.000	4	89.000		
	Total	17529.500	5			

Πίνακας 77: Σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές θερμοκρασίες εισόδου αέρα ξήρανσης

**Εκχύλισμα δενδρολίβανου με μίγμα ακετόνης νερού**

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0 και 4:1 δίνονται ως MD: 100 και 80 αντίστοιχα.

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RA	Between Groups	2.458	1	2.458	27.801	.006
	Within Groups	.354	4	.088		
	Total	2.811	5			
FLAV	Between Groups	10.270	1	10.270	1.863	.244
	Within Groups	22.053	4	5.513		
	Total	32.324	5			
CA	Between Groups	30.510	1	30.510	38.038	.004
	Within Groups	3.208	4	.802		
	Total	33.719	5			
COH	Between Groups	35.624	1	35.624	1.458	.294
	Within Groups	97.756	4	24.439		
	Total	133.380	5			
OPD	Between Groups	.252	1	.252	.022	.890
	Within Groups	46.516	4	11.629		

	Total	46.768	5			
TPD	Between Groups	24.442	1	24.442	67.293	.001
	Within Groups	1.453	4	.363		
	Total	25.895	5			

Πίνακας 78: Σημαντική διαφορά στην απόδοση μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών (FLAV) , του ροσμαρινικού οξέος (RA), του καρνοσικού οξέος (CA), της καρνοσόλης (COH) , των λοιπών φαινολικών διτερπενίων (OPD) και των ολικών φαινολικών διτερπενίων (TPD) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στην αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των φαινολικών συστατικών μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0 και 4:1 δίνονται ως MD: 100 και 80 αντίστοιχα.

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
RA	Between Groups	10.640	1	10.640	84.433	.001
	Within Groups	.504	4	.126		
	Total	11.144	5			
FLAV	Between Groups	4.284	1	4.284	56.002	.002
	Within Groups	.306	4	.077		
	Total	4.590	5			
OPD	Between Groups	9.728	1	9.728	.905	.395
	Within Groups	42.986	4	10.747		
	Total	52.715	5			
CA	Between Groups	42.613	1	42.613	10.945	.030
	Within Groups	15.573	4	3.893		
	Total	58.187	5			
COH	Between Groups	664.654	1	664.654	69.570	.001
	Within Groups	38.215	4	9.554		
	Total	702.869	5			
TPD	Between Groups	2.077	1	2.077	16.097	.016
	Within Groups	.516	4	.129		
	Total	2.593	5			

Πίνακας 79: Σημαντική διαφορά στην αποτελεσματικότητα μικροεγκλεισμού των φλαβονοειδών (FLAV) , του ροσμαρινικού οξέος (RA), του καρνοσικού οξέος (CA), της καρνοσόλης (COH) , των λοιπών φαινολικών διτερπενίων (OPD) και των ολικών φαινολικών διτερπενίων (TPD) μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες

Στατιστική επεξεργασία με ANOVA για τη σημαντική διαφορά στο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού που προέκυψαν για διαφορετικές αναλογίες. Προς διευκόλυνση, οι αναλογίες 1:0 και 4:1 δίνονται ως MD: 100 και 80 αντίστοιχα.

**ANOVA**

## MOISTURE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.022	1	.022	.188	.687
Within Groups	.461	4	.115		
Total	.482	5			

Πίνακας 80: Σημαντική διαφορά στην περιεχόμενη υγρασία μεταξύ των προϊόντων εγκλεισμού για διαφορετικές αναλογίες