



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ



ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

STUDY OF FLOW PROPERTIES OF STARCH POWDER

Καραμπαλάση Λυδία
Σιώμου Αντωνία

Θεσσαλονίκη 2018-2019

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης (ΑΤΕΙ),
Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη ΤΘ 141.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το άμυλο αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά της διατροφής. Έχει υψηλή διατροφική σημασία καθώς και εργοστασιακή. Γι' αυτόν το λόγο, η χημική και φυσική δομή του θα πρέπει να μελετώνται εκτενώς, αφού δίνουν αρκετές πληροφορίες για τις ιδιότητες του αμύλου. Εξαιτίας της πρακτικής σημασίας και της εύκολης προετοιμασίας και εφαρμογής καθαρού προϊόντος, το άμυλο ήταν ένα από τα πρώτα φυσικά πολυμερή που εκλήθησαν να μελετηθούν εξονυχιστικά. Σε αυτή την εργασία μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν τα σύμπλοκα αμυλόζης με λιπαρά οξέα, το άμυλο, το προζελατινοποιημένο άμυλο, τα σύμπλοκα αμυλόζης με λιπαρά οξέα και βελτιωτικά ροής και το άμυλο με βελτιωτικά ροής ως προς την επίδρασή τους στις ιδιότητες ροής τους. Ένας από τους λόγους που μελετήθηκαν οι ιδιότητες ροής του συμπλοκοποιημένου αμύλου με τα λιπαρά οξέα είναι η παρουσία αυτών των συμπλόκων σε καινοτόμες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη δόμηση φαρμακευτικών χαπιών, τα οποία εκτός από τη δραστική τους ουσία, μπορούν να προσδώσουν ευεξία και διατροφική αξία στους καταναλωτές ακόμα και να μειώσουν τον κίνδυνο ανάπτυξης χρόνιων παθήσεων.

Για να γίνει αυτή η μελέτη χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας εκνέφωσης, ο οποίος, αποτελεί σημαντικό κομμάτι στις βιομηχανίες τροφίμων και πρώτο βήμα στη μελέτη και τα πειράματα της εργασίας. Ο ξηραντήρας εκνέφωσης χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η ξήρανση του μίγματος των συμπλοκων αμύλου με τα λιπαρά οξέα. Αφού ελήφθη η σκόνη σκέτου και συμπλοκοποιημένου αμύλου από τον ξηραντήρα εξετάστηκε ο χρόνος ροής του με και χωρίς βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon και σε συνδυασμό των δύο) με τη βοήθεια ειδικού χωνιού. Άλλοι παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν η γωνία εναπόθεσης, ο δείκτης συμπίεστότητας, η αναλογία Hausner και το μέγεθος των σωματιδίων του αμύλου με τη βοήθεια της σκέδασης του φωτός. Επίσης εκτελέστηκαν διαβροχές με νερό στα δείγματα αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής και στα δείγματα συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής, ώστε να επιτευχθεί αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων με σκοπό να μην «κολλάνε» τα σωματίδια μεταξύ τους λόγω του μικρού μεγέθους τους και φράζουν την έξοδο του χωνιού, εμποδίζοντας έτσι την ροή της σκόνης.

Τέλος, γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων της εργασίας σχετικά με το συμπλοκοποιημένο άμυλο με και χωρίς βελτιωτικά ροής, το οποίο παρουσιάζει πολύ φτωχή ικανότητα ροής. Επίσης, γενικά όλα τα δείγματα σκόνης αμύλου παρουσίασαν φτωχές ιδιότητες χωρίς βελτιωτικά ροής, εκτός από το δείγμα αμύλου το βελτιωτικό ροής Aerosil που τείνει να κατέχει τον καλύτερο χρόνο ροής από τα υπόλοιπα δείγματα με βελτιωτικά ροής.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	6
2.1 Άμυλο.....	6
2.2 Σύμπλοκα αμυλόζης.....	9
2.2.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες	9
2.2.2 Σχηματισμός συμπλόκων αμυλόζης	9
2.2.3 Προστασία έναντι της οξειδωσης και των επιπτώσεων στην αντίληψη και απελευθέρωση της γεύσης	10
2.2.4. Επίπτωση του μάρκους της αλυσίδας αμυλόζης, των χαρακτηριστικών των λιπιδίων και της συγκέντρωσης στις σύνθετες ιδιότητες.....	10
2.2.5 Διαλυτότητα και συγκέντρωση του συνδέτη	11
2.2.6. Επί τόπου σχηματισμός συμπλόκων λιπιδίων αμυλόζης.....	11
2.3 Ζελατινοποίηση αμύλου	12
2.4. Λιπαρά οξέα.....	13
2.4.1. Δομή λιπαρών οξέων	13
2.5. Κονιοποίηση προϊόντων	14
2.5.1 Δυνάμεις που χρησιμοποιούνται στη κονιοποίηση	14
2.5.2 Μηχανική αντοχή στην κονιοποίηση.....	14
2.5.3 Ιδιότητες των κονιοποιημένων προϊόντων.....	15
2.5.4 Νόμοι της κονιοποίησης	15
2.5.5 Μύλοι μάλαξης	16
2.6 Τεχνική ξήρανσης με ψεκασμό.....	16
2.6.1 Ατομοποίηση	16
2.6.2. Υλικά και παράμετροι διαδικασίας.....	17
2.6.3 Φάσεις και κανόνες της ξήρανσης με ψεκασμό.....	19
2.6.4. Επεξεργασία διευρέυσης μεγέθους	19
2.6. 5. Βασική συσσωμάτωση.....	20
2.6.6. Δυνάμεις έλξης μεταξύ των στερεών σωματιδίων	20
2.6.7. Μέθοδοι συσσωμάτωσης.....	21
2.6.8. Καθορισμός ικανότητας ροής	21
2.7 Μεταφορά σκόνης.....	22
2.7.1 Σκέδαση φωτός	23

2.7.2 Στατική Σκέδαση Φωτός (Static Light Scattering, SLS)	23
2.7.3. Δυναμική Σκέδαση Φωτός (Dynamic Light Scattering, DLS)	24
2.7.4. Εφαρμογές της σκέδασης φωτός στην ανάλυση τροφίμων	24
2.8 Μέθοδοι για τη μελέτη των ιδιοτήτων ροής	24
2.8.1 Τεστ ροής	24
2.8.2 Γωνία εναπόθεσης	25
2.8.3 Δείκτης Συμπιεστότητας και Αναλογία Hausner	25
3. ΣΚΟΠΟΣ	26
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	26
4.1 Πειραματική διαδικασία	27
4.1.1. Ξηραντήρας εκνέφωσης	27
4.1.2. Βελτιωτικά Ροής	28
4.1.3. Συνδυασμοί Αμύλου και Συμπλοκοποιημένου Αμύλου με Βελτιωτικά Ροής που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα	29
4.2. Μέθοδοι ανάλυση	29
4.2.1. Δείκτης συμπιεστότητας και Αναλογία Hausner	29
4.2.2. Τεστ ροής	29
4.2.3. Γωνία εναπόθεσης	29
4.2.4. Συσσωμάτωση με ύγρανση	30
4.3. Στατιστική ανάλυση	30
5. Αποτελέσματα- Συζήτηση	32
5.1. Τεστ ροής	32
5.1.1. Άμυλο	32
5.1.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο	34
5.2. Γωνία εναπόθεσης	35
5.2.1. Άμυλο	35
5.2.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο	38
5.3. Δείκτης Συμπιεστότητας και αναλογία Hausner	41
5.3.1. Άμυλο	41
5.3.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο	46
5.4. Μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων	50
6. Συζήτηση	54
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	55

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	58

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόοδος της μηχανικής τροφίμων σε συνδυασμό με τη συνεχή ζήτηση καινοτόμων προϊόντων έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των εμπορικών διατροφικών συστατικών. Τα περισσότερα συστατικά παρέχονται σε μορφή σκόνης και γι' αυτόν το λόγο η τεχνολογία παραγωγής σκόνης και η μελέτη της συμπεριφοράς της είναι όλο και πιο σημαντικό ζήτημα για τους παραγωγούς τροφίμων. Οι κύριοι λόγοι για την παραγωγή σκόνης είναι η επέκταση χρόνου ζωής του συστατικού μέσω της μείωσης του νερού σε αυτό. Εξαιτίας της μείωσης της ποσότητας του νερού του συστατικού, μειώνεται ο όγκος του και κατά συνέπεια ο χώρος αποθήκευσης του.

Το φυσικό άμυλο παρουσιάζει μια πιο ελκυστική εναλλακτική λύση, για να χρησιμοποιηθεί ως ένας φορέας για την προστασία των ευαίσθητων και ασταθών ουσιών. Είναι άφθονο στη φύση, αρκετά φθηνό, διατίθεται στο εμπόριο σε μεγάλες ποσότητες και είναι πλήρως βιοδιασπώμενο. Επιπλέον, το πιο σημαντικό συστατικό του αμύλου, καθιστώντας το ιδανικό για ενθυλάκωση, είναι η αμυλόζη, η οποία έχει την μοναδική ιδιότητα μεταξύ των άλλων βιοπολυμερών να αλληλοεπιδρά φυσικά με πολικές και μη πολικές ενώσεις, όπως λιπαρά οξέα, με σκοπό να σχηματίσει σύμπλοκα εγκλεισμού. Όταν το άμυλο πάρει τη μορφή σκόνης, μπορεί να αξιολογηθεί η ικανότητα ροής του. Η βέλτιστη ικανότητα ροής της σκόνης του αμύλου είναι απαραίτητη ώστε να είναι δυνατή η μορφοποίηση της σκόνης σε χάπια, καθώς η καλή ικανότητα ροής οδηγεί στον σχηματισμό ομοιόμορφου στρώματος κόνεως.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των ιδιοτήτων ροής της σκόνης αμύλου και με ποιον τρόπο αυτές μπορούν να επηρεαστούν. Εξετάστηκε η ικανότητα ροής των δειγμάτων αμύλου σε σκόνη σε σύγκριση με δείγματα στα οποία έχουν προστεθεί βελτιωτικά ροής. Επίσης μελετήθηκαν τα σύμπλοκα αμυλόζης με λιπαρά οξέα και συγκρίθηκαν με τα δείγματα αμύλου. Ένας ακόμη παράγοντας που εξετάστηκε είναι η υγρασία και κατά πόσο αυτή επηρεάζει τα δείγματα. Για να αποδειχθεί αυτό, οι σκόνες μελετήθηκαν σε μηχανήμα Mastersizer με το οποίο μετρήθηκε το μέγεθος των σωματιδίων της

σκόνης. Το μέγεθος των σωματιδίων δίνει σημαντικές πληροφορίες για την ικανότητα ροής της σκόνης.

2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Άμυλο

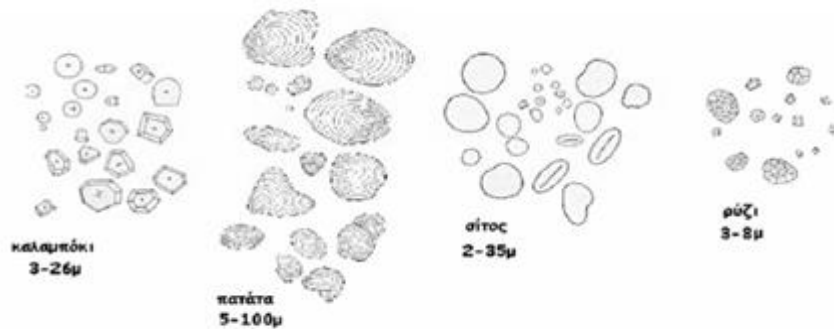
Το άμυλο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο συστατικά: την αμυλόζη (κατά 20%) και την αμυλοπηκτίνη (κατά 80%). Και τα δύο συστατικά έχουν ως δομικό υλικό την α-γλυκόζη, διαφέρουν όμως ως προς τη σύνταξη και το μοριακό βάρος. Το άμυλο είναι γλυκάνη, και αποτελεί το σημαντικότερο τελικό προϊόν της φωτοσύνθεσης και σε αντίθεση με την κυτταρίνη, η γλυκόζη που το αποτελεί, μπορεί με τη βοήθεια των αμυλασών να επανέλθει στο μεταβολισμό του ανθρώπου για κάλυψη ενεργειακών αναγκών ή για σύνθεση άλλων υλικών. (Τζια et al., 2009)

Το άμυλο μπορεί να βρεθεί σε πολλά πράσινα φυτά και πιο συγκεκριμένα, σε κορμούς, κοτσάνια και ρίζες φυτών, σε φρούτα και σπόρους. Τα φυτά εξασφαλίζουν το άμυλο και το αποθηκεύουν για μελλοντική χρήση. Έτσι ακριβώς κάνει και ο οργανισμός του ανθρώπου. Ο άνθρωπος πολλά χρόνια πριν αποθήκευε το άμυλο σε περίπτωση δυσμενών συνθηκών. Πολλές φορές όμως υπήρχε πλεόνασμα του υλικού με αποτέλεσμα να πέφτει έξω από τον χώρο αποθήκευσης και άρχισε να βλασταίνει. Έτσι, ξεκίνησε μια μικρή καλλιέργεια με σκοπό την συγκέντρωση σπόρων και βλαστών για τις επόμενες εποχές. (French, 1973)

Το καλαμπόκι θεωρείται η πιο σημαντική πηγή αμύλου στον κόσμο, συμβάλλοντας σχεδόν στο 80% της παγκόσμιας παραγωγής αμύλου, και ακολουθούν το σιτάρι (>8%), η πατάτα (>5%) και η μανιόκα ή ταπιόκα (>5%). Άμυλα από ρύζι, κριθάρι, βρώμη, γλυκοπατάτα κλπ, συμβάλλουν επίσης στην παγκόσμια παραγωγή αμύλου σε μικρότερες όμως ποσότητες. Άμυλα διαφορετικής προέλευσης έχουν μοναδικές χαρακτηριστικές ιδιότητες που αφορούν στη μορφή, το μέγεθος, την κατανομή του μεγέθους, τη σύνθεση και την κρυσταλλικότητα των κόκκων (Belitz et al., 2007)

Το άμυλο ευρίσκεται υπό μορφή κόκκων δηλ. «πακέτα» χαρακτηριστικού μεγέθους και σχήματος. Οι κόκκοι του αμύλου ανάλογα με την προέλευσή τους διαφέρουν ως προς το μέγεθος και τη μορφή, πράγμα που επιτρέπει τη μικροσκοπική αναγνώριση του αμύλου διαφόρων προελεύσεων. Η δομή του κόκκου είναι ψευδοκρυσταλλική, δεν υπάρχει δηλαδή μια σαφής επαναλαμβανόμενη συμμετρία,

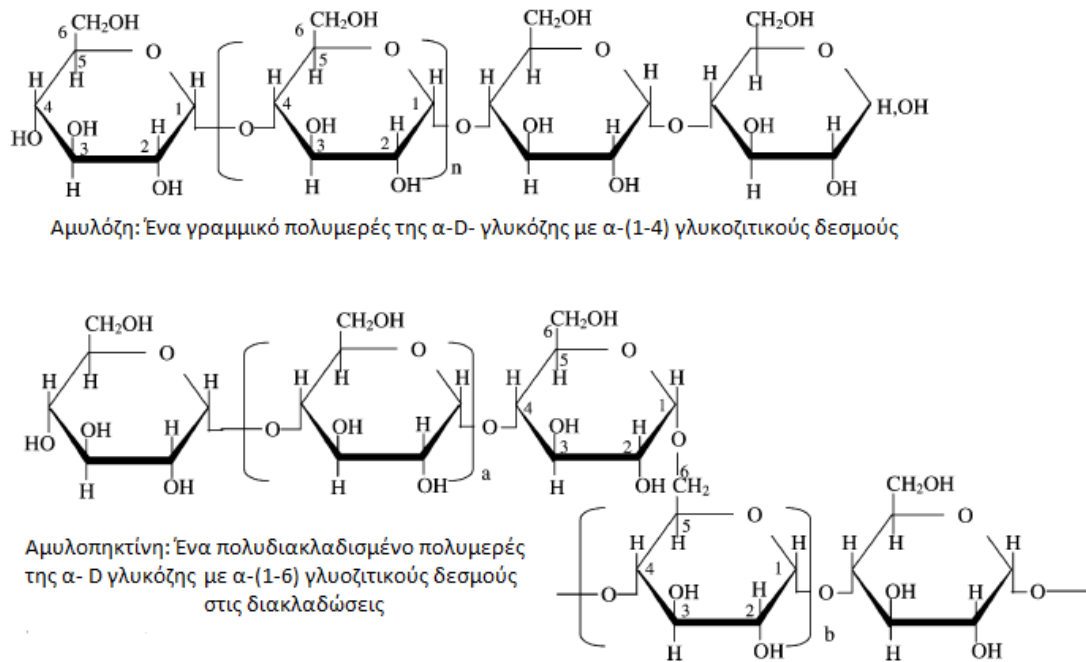
αλλά εμφανίζει περισσότερο τη μορφή ενός θυσάνου από στενά «πλεγμένους» έλικες αμυλόζη και μόρια αμυλοπηκτίνης με ένα κεντρικό σημείο έναρξης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. (Τζια et al., 2009)



Σχήμα 1: Κόκκοι αμύλου από διάφορες πηγές (Τζια et al., 2009)

Χημικές και βιοχημικές αναλύσεις αποδεικνύουν ότι η βασική αλυσίδα του αμύλου αποτελείται από D-γλυκόζη και συνδέεται με α -1-4 δεσμούς. Τα πιο γνωστά αμυλούχα προϊόντα (πχ η πατάτα και το καλαμπόκι) περιέχουν 20% αμυλόζη, το υπόλοιπο είναι αμυλοπηκτίνη. (French, 1973) Η αναλογία αμυλόζης προς αμυλοπηκτίνη σε ένα φυσικό άμυλο είναι περίπου 1:3, ενώ η ακριβής τιμή εξαρτάται από την βοτανική προέλευση του αμύλου (Buléon et al., 1998; Tester et al., 2004). Η αναλογία στην οποία αυτά τα δύο πολυμερή βρίσκονται στους κόκκους του αμύλου, επηρεάζει σημαντικά τις λειτουργικές του ιδιότητες.

Το άμυλο αποτελείται από ένα μίγμα δύο πολυμερών. Την αμυλόζη, η οποία είναι ένα γραμμικό πολυμερές της α -D-γλυκόζης με α -(1-4) γλυκοζιτικούς δεσμούς και με ελάχιστο αριθμό διακλαδώσεων (~1%) που συνδέονται με την κύρια αλυσίδα με α -(1-6) γλυκοζιτικούς δεσμούς. (Putseysetal., 2010; Testeretal., 2002) Η αμυλοπηκτίνη, σε αντίθεση με την αμυλόζη, είναι ένα πολυδιακλαδισμένο πολυμερές της α -D-γλυκόζης. Ο γλυκοζιτικός δεσμός στην αλυσίδα είναι α -(1-4) και η διακλάδωση συνδέεται με την αλυσίδα με δεσμό α -(1-6). και την αμυλοπηκτίνη η οποία είναι ένα κλαδωτό πολυμερές (Σχήμα 2). (Buléon et al., 1998)



Σχήμα 2: Δομή της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Tester et al., 2004)

Το άμυλο (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη μαζί) είναι σώμα λευκό, αδιάλυτο στο ψυχρό νερό και στο οινόπνευμα. Στο ζεστό νερό εξ αιτίας της περιεχόμενης αμυλοπηκτίνης το άμυλο διογκώνεται, οι κόκκοι του διαρρηγνύονται και λαμβάνεται ιξώδες υγρό, που κατά την ψύξη γίνεται ζελατινώδες και αποτελεί την κοινή αμυλόκολλα.

Η υδρόλυση των συμπλόκωναμυλόζης μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία με δύο βήματα. Πρώτα, προκύπτει μια ταχεία υδρόλυση των άμορφων περιοχών, π.χ. των συνδέσμων αμυλόζης μεταξύ των ελίκων. Το δεύτερο βήμα είναι πιο αργό και περιλαμβάνει την διάσπαση των συμπλόκωναμυλόζης. Η υδρόλυση των συμπλόκων επηρεάζεται από το μήκος της αλυσίδας και της αμυλόζης και των λιπιδίων (Putseys et al., 2010). Η υδρόλυση του αμύλου μπορεί να γίνει με οξέα ή ενζυμικά. Κατά την ενζυμική υδρόλυση του αμύλου με διάφορες αμυλάσες (α-αμυλάση, β-αμυλάση, γλυκοαμυλάση) σχηματίζονται ανάλογα με την περίπτωση: μαλτόζη, γλυκόζη και οριοδεξτρίνες, που ονομάζονται έτσι γιατί βρίσκονται στο όριο της υδρολυτικής ικανότητας του χρησιμοποιούμενου ενζύμου. Κατά την υδρόλυση του αμύλου με οξέα λαμβάνεται ως τελικό προϊόν σχεδόν ποσοτικά η γλυκόζη, που αποτελεί το

απλούστερο δομικό τμήμα του μορίου του αμύλου. Κατά την όξινη υδρόλυση του αμύλου σχηματίζονται μερικά ενδιάμεσα προϊόντα με κομμώδη σύσταση και χωρίς καθορισμένη σύνθεση, που ονομάζονται *δεξτρίνες*. Οι δεξτρίνες είναι ένας γενικός όρος για προϊόντα αποικοδομήσεως του αμύλου, που αποτελούν ενδιάμεση βαθμίδα, με ελαττούμενο μοριακό μέγεθος, ανάμεσα στο άμυλο και τους ολιγοσακχαρίτες. Οι δεξτρίνες είναι διαλυτές στο νερό και αδιάλυτες στο οινόπνευμα, δεν έχουν γλυκιά γεύση ούτε ζυμώνονται κατευθείαν από τους ζυμομύκητες. Με πλήρη υδρόλυση μετατρέπονται τελικά σε γλυκόζη. Κατά την όξινη υδρόλυση του αμύλου λαμβάνεται πρώτα το *διαλυτό άμυλο* ή *αμυλοδεξτρίνη*, που σχηματίζει μπλε χρώμα με ιώδιο. Καθώς προχωρά η υδρόλυση σχηματίζονται οι *ερυθροδεξτρίνες*, που με το ιώδιο δίνουν κόκκινο χρώμα. Στη συνέχεια της υδρόλυσης σχηματίζονται οι *μαλτοδεξτρίνες* που δεν δίνουν κανένα χρώμα με το ιώδιο και κατόπιν σχηματίζεται μαλτόζη και τελικά γλυκόζη. (Owusu-Aparenten, 2005)

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων, τόσο μόνα τους, όσο και σε μίγματα αποτελούν σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση του προϊόντος μετά τον θρυμματισμό. Στα θρυμματισμένα προϊόντα, ο όρος "διάμετρος" χρησιμοποιείται γενικά για να περιγράψει την χαρακτηριστική διάσταση σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων. Το σχήμα ενός ατομικού σωματιδίου ιδανικά εκφράζεται με όρους της σφαιρικότητας Φ , η οποία είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος των σωματιδίων. Για σφαιρικά σωματίδια η Φ ισούται με τη μονάδα, ενώ για πολλά θρυμματισμένα υλικά το μέγεθος κυμαίνεται μεταξύ 0,6-0,7 nm (Barbosa et al., 2005)

Η αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων του αμύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί πρακτικά ξηραίνοντας τη σκόνη του αμύλου και διαβρέχοντάς τη. (Lyckfeldt et al., 1998)

Αντίθετα μείωση του μεγέθους των σωματιδίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον θρυμματισμό του αμύλου, όπου αυτό είναι επιθυμητό. Ο θρυμματισμός μπορεί να συμβεί με ενέργειες όπως σύνθλιψη, άλεση κ.α. (Barbosa et al., 2005). Τα τελευταία χρόνια έχει στραφεί το ενδιαφέρον προς τον κλάδο των φαρμάκων και πώς μπορούν να γίνουν πιο λειτουργικά με τη βοήθεια φυσικών συστατικών (Mosbach et al., 1979). Αμυλο με υψηλή περιεκτικότητα αμυλόζης έχει αναπτυχθεί ως έκδοχο φαρμάκου για τη χρήση του από το στόμα. Πλεονεκτήματα αυτής της νέας

κατηγορίας εκδόχου είναι η σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας που παρουσιάζεται, η εύκολη τεχνολογία παρασκευής τους, η απουσία διάβρωσης, η περιορισμένη διόγκωση και το γεγονός ότι η αύξηση των μορίων διασύνδεσης έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο ρυθμό πρόσληψης νερού και ρυθμό απελευθέρωσης φαρμάκου. (Lenaerts et al., 1998). Συνήθως δεν φτάνει μόνο η παρουσία αμύλου για τη σταθεροποίηση του φαρμάκου σε μορφή χαπιού, αλλά πρέπει να υπάρχει ακόμα ένα συστατικό ώστε να αναπτυχθούν ισχυροί δεσμοί μεταξύ τους. (Mimoz et al., 2000)

Τα σύμπλοκα αμυλόζης με λιπαρά οξέα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από τεχνολογικής πλευράς. Για παράδειγμα αν μειωθεί η διαλυτότητα της αμυλόζης, αυξάνεται η θερμοκρασία ζελατινοποίησης, μειώνεται η «κολλητική» ικανότητα και καθυστερεί η αποικοδόμηση της. Συνήθως τα μονογλυκερίδια χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα τροφίμων (Holm et al., 1983)

Η παραγωγή αμύλου έχει ως πρώτη ύλη το καλαμπόκι. Το πρώτο στάδιο παραγωγής του ξεκινάει με τη διαβροχή του καλαμποκιού με νερό και 0,2% SO₂ στους 15°C για 35-45 ώρες. Στη συνέχεια πραγματοποιείται άλεση, αποφλοίωση και ακολουθεί η πολτοποίηση. Σε επόμενο στάδιο προστίθεται SO₂ και αυξάνεται η θερμοκρασία στους 29-33°C. Έπειτα διαχωρίζονται οι κόκκοι αμύλου με φυγοκέντριση και στη συνέχεια με φίλτρα. Η τελική μορφή του άμυλο επέρχεται με την ξήρανση. (Owusu-Aparenten, 2005)

2.2 Σύμπλοκα αμυλόζης

2.2.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες

Τα σύμπλοκα αμυλόζης μπορούν να βρεθούν με τη μορφή πεταλοειδούς σχήματος ή τυχαία τοποθετημένα στο χώρο. Κάτω από συνθήκες χαμηλής υγρασίας τα τυχαία τοποθετημένα στο χώρο σύμπλοκα μπορούν να μετατραπούν σε μία παραλλαγή γνωστή ως E-αμυλόζη. (Putseys et al., 2010)

Τα σύμπλοκα αμυλόζης όταν βρίσκονται μερικώς κρυσταλλοποιημένα έχουν κάποια τμήματα της αλυσίδας σε ελικοειδή μορφή με διαστάσεις μέχρι και 14,5 nm. Με τη σύνδεση των συμπλόκων προκύπτει μια επιπλέον συσσωμάτωση των ελίκων. Μετά τη σύνδεση δημιουργείται μια αλυσίδα που διπλώνει προς τον εαυτό της.

(Putseys et al., 2010) Από τη στιγμή που σχηματίζεται το σύμπλοκο πολύ εύκολα και στιγμιαία μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνδεση του λιπαρού οξέος. (Holm et al., 1998)

Τα σύμπλοκα αμυλόζης με λιπαρά οξέα έχουν χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετα μόνο σποραδικά. Επηρεάζουν την αναδιαμόρφωση του αμύλου θετικά μόνο μετά την προθέρμανση, π.χ. αφού έχουν θερμανθεί, και έτσι έχουν διασπαστεί, πριν την προσθήκη του συστήματος που περιέχει άμυλο. Έτσι το λιπίδιο γίνεται διαθέσιμο να αλληλοεπιδράσει και να επηρεάσει τα συστήματα που περιέχουν άμυλο. Κάποια στερεοχημική παρεμπόδιση, που προκλήθηκε από το σύμπλοκο, μπορεί να καταλήξει σε πιο αργή κρυστάλλωση των εξωτερικών διακλαδώσεων της αμυλοπηκτίνης, αλλά αυτό το αποτέλεσμα ήταν μικρότερο συγκριτικά με αυτό του συνδέτη που δεν έχει συμπλεχθεί. (Putseys et al., 2010)

2.2.2 Σχηματισμός συμπλόκων αμυλόζης

Τα μόρια γλυκόζης του αμύλου είναι ενωμένα με α(1-4) δεσμούς, σε ευθεία δομή (διαμόρφωση α-έλικας σε διάλυμα). Το άμυλο έχει την ικανότητα φυσικού εγκλεισμού με διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις, όπως λιπαρά, ιώδιο (δείκτης αμύλου), αλκοόλες, λιπαρά οξέα κ.α. σχηματίζοντας αδιάλυτες στο νερό κρυσταλλικές έλικες V-μορφής. (Τζια et al., 2009; Immel et al., 2000)

Έχουν περιγραφεί διαφορετικές μέθοδοι για τον σχηματισμό συμπλοκωναμυλόζης. Γενικά, αυτές μπορούν να χωριστούν σε 3 υποκατηγορίες

- i) ξεκινώντας από το άμυλο και το συνδέτη ή
- ii) ξεκινώντας από την αμυλόζη και τον συνδέτη ή
- iii) συνθέτοντας την αμυλόζη με την παρουσία του συνδέτη.

Ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν διαφέρουν. Στη περίπτωση ii) και iii) τα σύμπλοκα που προκύπτουν είναι πιο καθαρά. Τη στιγμή της ζελατινοποίησης και με την παρουσία του συνδέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί μια επιπλέον συμπλοκοποίηση. Για τα λιπίδια π.χ. η υγρή φάση είναι η πιο κατάλληλη για τη συμπλοκοποίηση της αμυλόζης. Ο διαλύτης που χρησιμοποιείται επηρεάζει και τη διαλυτότητα του αμύλου και του προσθετικού. Μπορούν να εισέλθουν και μικροί γαλακτωματοποιητές μέσα στον κόκκο της

αμυλόζης και να συμπλοκοποιηθούν και εσωτερικά. Η συμπλοκοποίηση πραγματοποιείται κατά τη θέρμανση ή και αμέσως μετά από αυτή. (Putseys et al., 2010)

2.2.3 Προστασία έναντι της οξειδωσης και των επιπτώσεων στην αντίληψη και απελευθέρωση της γεύσης

Η γεύση των προϊόντων που περιέχουν άμυλο μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από την οξείδωση. Η συμπλοκοποίηση της αμυλόζης μπορεί να προστατέψει από το οξυγόνο τα μόρια που είναι ευαίσθητα σε αυτό, όπως τα ακόρεστα οξέα, π.χ. το συζευγμένο λινολεϊκό οξύ. Η ενθυλάκωση σε σύμπλοκα αμυλόζης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σταθεροποιήσει τα συστατικά γεύσης, όπως τα μόρια αρώματος, και έτσι αυξάνεται η συγκράτησή τους. Με αυτόν τον τρόπο όμως επηρεάζεται επίσης και η αντίληψη της γεύσης. Η συμπλοκοποίηση του λινολεϊκούοξέως δεν σταθεροποιεί μόνο τον συνδέτη έναντι του οξυγόνου, αλλά μάλιστα δημιουργεί ένα μέσο για την ελεγχόμενη απελευθέρωση του συνδέτη στο έντερο. (Putseys et al., 2010) Το άμυλο είναι μια σημαντική θρεπτική ουσία και επηρεάζει την γλυκαιμική αντίδραση και το ποσό των άπεπτων υδατανθράκων οι οποίοι μεταφέρονται στο παχύ έντερο. (Phillips et al., 1992)

2.2.4. Επίπτωση του μήκους της αλυσίδας αμυλόζης, των χαρακτηριστικών των λιπιδίων και της συγκέντρωσης στις σύνθετες ιδιότητες

2.2.4.1 Μήκος αλυσίδας αμυλόζης

Ο βαθμός πολυμερισμού (DP) έχει επιπτώσεις στις ιδιότητες των συμπλόκων. Οι μεγάλες αλυσίδες αμυλόζης μπορούν να συμπλέξουν περισσότερα λιπίδια και έτσι μπορούν τα σύμπλοκα να υποστούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία τήξης, η σταθερότητα, και το επίπεδο οργάνωσης των συμπλόκων λιπιδίων αμυλόζης αυξάνονται γενικά με το μήκος της αλυσίδας της αμυλόζης. Παρ' όλα αυτά, αν οι αλυσίδες αμυλόζης είναι πολύ μεγάλες, αυτό οδηγεί σε διαταραχές διαμόρφωσης. Από την άλλη, αν είναι πολύ μικρές, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τον σχηματισμό των κρυστάλλων. Έτσι παρατηρήθηκε ότι μια αλυσίδα με βαθμό

πολυμερισμού 20 δεν μπορεί να συμπλακεί με ένα λιπίδιο, ενώ με βαθμό πολυμερισμού 60 μπορεί. (Putseys et al., 2010)

Έχει αποδειχθεί ότι με την παρουσία λιπαρών οξέων και φωσφολιπιδίων στα σύμπλοκα η δομή της αλυσίδας είναι περιορισμένης έκτασης, δηλαδή μικρή. Με τη θέρμανση των συμπλόκων μειώνεται η διαλυτότητα της αμυλόζης και αυξάνεται η θερμοκρασία ζελατινοποίησης. Πολικά λιπίδια όπως λιπαρά οξέα ή εστέρες μονογλυκεριδίων είναι πολύ σημαντικά από τεχνολογικής πλευράς στα συστήματα αμύλου μειώνοντας την «κολλητική» ικανότητα και αποδυναμώνοντας το σύμπλοκο. (Godet et al., 1995)

2.2.4.2. Τύπος λιπιδίων, μήκος αλυσίδας και μη-κορεσμός

Τα λιπίδια έχουν τη μορφή σφαιριδίου που περιβάλλεται από μια προστατευτική μεμβράνη. Το λίπος αποτελείται κυρίως από τριγλυκερίδια, μερικά διγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, χοληστερόλη κτλ. Τα λιπαρά οξέα μπορούν να καταταχθούν ως κορεσμένα ή ακόρεστα. Αυτή η κατηγοριοποίηση εξαρτάται από τον αριθμό των υδρογόνων που υπάρχει στην αλυσίδα (κορεσμένο) ή από το αν υπάρχει διπλός δεσμός στη αλυσίδα (ακόρεστο). Έτσι μπορούν να υπάρξουν εκατομμύρια συνδυασμοί που να έχουν επίπτωση στη δομή του συμπλόκου. (Douglas et al., 2012)

Το μήκος της αλυσίδας του λιπιδίου, η κατάταξή του στα κορεσμένα ή ακόρεστα λιπίδια και το πολικό ή μη άκρο του, έχουν επιπτώσεις στις ιδιότητες του συμπλόκου. Η μεγαλύτερη αλυσίδα υδρογονάνθρακα επιτρέπει περισσότερες υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις, απαιτώντας υψηλότερες θερμοκρασίες για να σπάσει αυτούς τους δεσμούς. Τα λιπίδια με αλυσίδα τιμής 10 ή λιγότερων ατόμων άνθρακα είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν σχηματισμό συμπλόκου, μάλλον επειδή είναι αρκετά εύκολο να διαλυθούν στο υδαρές (υγρό) περιβάλλον ώστε να διατηρηθούν σωστά στην υδροφοβική κοιλότητα. Υπάρχει, παρ' όλα αυτά, μια διαφωνία για το καλύτερο συμπλεκόμενο λιπίδιο. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι το μήκος μιας αλυσίδας λιπιδίου με 14 άτομα άνθρακα είναι το ιδανικό για τον σχηματισμό συμπλόκων, ενώ άλλοι έχουν ανακαλύψει ότι είναι προτιμότερο να υπάρχουν 16 ή 18 άτομα άνθρακα στο μήκος της αλυσίδας λιπιδίου. Ο αριθμός των διπλών δεσμών στην αλυσίδα λιπιδίων έχει κι αυτός ιδιαίτερη επιρροή στις θερμικές ιδιότητες των συμπλόκων των λιπιδίων

αμυλόζης. Ακόρεστα λιπαρά οξέα σημαίνει χαμηλότερη θερμική σταθερότητα του συμπλόκου που προκύπτει. Παρόλα αυτά τα σχεδόν γραμμικά ακόρεστα λιπίδια μπορούν να συμπλεχθούν αρκετά καλά. (Putseys et al., 2010)

Τελικά αποδείχθηκε ότι μόνο- και δι-γλυκερόλες μπορούν να συμπλεχθούν με την αμυλόζη, ενώ τα λιπίδια τριγλυκερόλης δεν μπορούν. Και πιο συγκεκριμένα μπορούν να συμπλεχθούν μονογλυκερίδια με μικρή αλυσίδα (10-12 άτομα άνθρακα) (Putseys et al., 2010)

2.2.5 Διαλυτότητα και συγκέντρωση του συνδέτη

Ο βαθμός σχηματισμού συμπλόκου καθορίζεται από τη συγκέντρωση και την διαλυτότητα του συνδέτη. Η αναλογία του συνδέτη - αμυλόζης είναι, συνεπώς, ένας καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του έγκλειστου σύμπλοκου αμυλόζης. Αναφέρεται ότι αρκεί μόνο λίγη ποσότητα του λιπιδίου για να συμπλοκοποιήσει όλα τα μόρια αμυλόζης. Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν είναι πάντα δυνατό λόγω της στερεοχημικής παρεμπόδισης. Σε αυτήν την περίπτωση, το μη-συμπλοκοποιημένο λιπίδιο μπορεί να παγιδευτεί στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των ελίκων. Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις συνδετών, η αμυλόζη μπορεί επίσης να υιοθετήσει έναν σχηματισμό διπλού έλικα, φτάνοντας σε ανταγωνισμό με τον σχηματισμό του μονού έλικα που απαιτείται για τα έγκλειστα σύμπλοκα. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις συνδετών, συμμετέχουν και πάλι μικρότερες αλυσίδες αμυλόζης στο σχηματισμό συμπλόκων. Τέτοιες υψηλές συγκεντρώσεις οδηγούν σε λιγότερο ξεκάθαρο δέσιμο, με την αμυλοπηκτίνη να είναι ικανή να συμμετέχει κι αυτή στο σχηματισμό των συμπλόκων. Ο συνδέτης πρέπει να διαλύεται εύκολα για να μπορεί να αλληλοεπιδράσει με την αμυλόζη. Για αυτό, η διαλυτότητα του είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην συμπλοκοποίηση με την αμυλόζη. (Putseys et al., 2010)

2.2.6. Επί τόπου σχηματισμός συμπλόκων λιπιδίων αμυλόζης

Οι αλληλεπιδράσεις των λιπιδίων- αμύλου ελαττώνουν την ικανότητα διόγκωσης του αμύλου, τη διαλυτότητα και τη διάσπαση του κόκκου και αυξάνουν την θερμοκρασία ζελατινοποίησης. Πρόσθετα εξωγενή καθαρά λιπίδια μπορούν να σχηματίσουν μια αδιάλυτη στρώση γύρω από τους κόκκους, εμποδίζοντας την είσοδο

νερού. Παρ' όλα αυτά, η επί τόπου συμπλοκοποίηση μεταξύ της αμυλόζης και αυτών των λιπιδίων, είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό του κόκκου, συμβάλλει επίσης σε αυτά τα φαινόμενα, κυρίως με το να εμποδίζει την έξοδο του διαλυτού υδρογονάνθρακα. Όσο μεγαλύτερο το μήκος της αλυσίδας των λιπιδίων και όσο υψηλότερη η συγκέντρωσή τους, τόσο πιο πολύ καθυστερεί η επικόλληση και η ζελατινοποίηση του αμύλου. Έχουν αναφερθεί διαφορετικά αποτελέσματα της προσθήκης των συνδετών, στο ιξώδες και τη ζελατινοποίηση του αμύλου. Η προσθήκη των έγκλειστων συστατικών μπορεί να περιορίσει την διόγκωση των κόκκων αμύλου, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το ιξώδες. Οι εξωτερικές διακλαδώσεις της αμυλοπηκτίνης μπορούν επίσης να συμπλεχθούν με το λιπίδιο, αυξάνοντας την ακαμψία του κόκκου και το ιξώδες του λιπιδίου δημιουργώντας μια πηκτή. (Putseys et al., 2010)

Στις συγκεκριμένες πηκτές που δημιουργούνται, η συμπλοκοποίηση της αμυλόζης είτε από γαλακτοματοποιητές είτε από άλλα συστατικά, περιορίζει την κρυστάλλωση κατά τη διάρκεια της ψύξης καταλήγοντας να τα κάνει πιο αδύναμα με την ύπαρξη συνδετών. Η προσθήκη λιπιδίων σε ένα μίγμα που περιέχει άμυλο προκαλεί ανταγωνισμό μεταξύ της συμπλοκοποίησης του λιπιδίου με την αμυλόζης και των κρυστάλλων που δημιουργούνται. (Putseys et al., 2010)

2.3 Ζελατινοποίηση αμύλου

Η τεχνολογική χρησιμότητα του αμύλου στα συστήματα τροφίμων προκύπτει από την ιδιότητα του να ζελατινοποιείται. Ως ζελατινοποίηση ορίζεται ως η μη αντιστρεπτή διόγκωση των κόκκων του αμύλου με νερό κατά την θέρμανσή του πάνω από μια κρίσιμη θερμοκρασία (θερμοκρασία ζελατινοποίησης). Παρόλο που αναφέρθηκε η θερμοκρασία ζελατινοποίησης (T_z), στην πραγματικότητα το φαινόμενο συμβαίνει σε ένα εύρος περίπου 10°C . Κάθε είδος αμύλου χαρακτηρίζεται από την θερμοκρασία ζελατινοποίησης του, η οποία μπορεί και να μεταβληθεί με τις συνθήκες επεξεργασίας και τη σύνθεση του τρόφιμου. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται κάποιες από τις θερμοκρασίες ζελατινοποίησης, όπως του καλαμποκιού $61-72^\circ\text{C}$, της πατάτας $62-68^\circ\text{C}$, του σίτου $53-64^\circ\text{C}$ και του ρυζιού $65-73^\circ\text{C}$. (Owusu-Apenten, 2005)

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την θερμοκρασία ζελατινοποίησης είναι το pH, ο ρυθμός θέρμανσης (dQ/dt), και η παρουσία σακχάρων και λιπαρών. (Owusu-Aparenten, 2005)

Η ζελατινοποίηση έχει τα εξής παρακάτω στάδια:

α) Κρύο νερό. Κόκκοι αδιάλυτοι. Απορροφούν νερό αντιστρεπτά (μέχρι 25%) και διογκώνονται ελαφρά (9-20%)

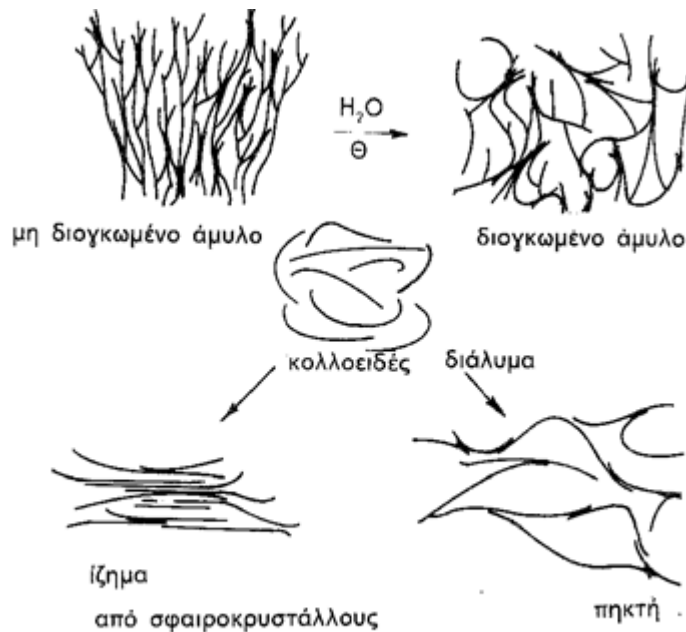
β) Με την αύξηση της θερμοκρασίας η δομή του κόκκου σταδιακά μειώνεται, μέχρι το σημείο ζελατινοποίησης T_z . Στο T_z υπάρχει απώλεια «κρυσταλλικότητας», αύξηση ιξώδους, ταχεία διόγκωση και μεγάλη συγκράτηση νερού. Διαλυτά μόρια αμυλόζης διαρρέουν από τον κόκκο. Στο σημείο αυτό το φαινόμενο της ζελατινοποίησης είναι μη αναστρέψιμο.

γ) Με συνέχιση της θέρμανσης υπάρχει αύξηση διόγκωσης και το διαλυτό άμυλο αυξάνει. Τελικά οι κόκκοι διαρρηγνύονται, το ιξώδες μειώνεται απότομα και οι κόκκοι «συγκολλούνται». Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται σχηματισμός πήγματος. Τα πήγματα του αμύλου διασπώνται εύκολα με μεγάλες διατμητικές τάσεις και «υγροποιούνται». Το φαινόμενο είναι εν μέρει αντιστρεπτό δηλ. το πήγμα «επανέρχεται».

Όταν το ζελατινοποιημένο άμυλο ψυχθεί, με τον χρόνο γίνεται συσσωμάτωση και καθίζηση: *αναδιαμόρφωση*. Η αναδιαμόρφωση οφείλεται κυρίως στην αμυλόζη. Στην αναδιαμόρφωση του ζελατινοποιημένου αμύλου οφείλεται εν μέρει το «μπαγιάτεμα» του ψωμιού και των αρτοποιημάτων. (Owusu-Aparenten, 2005)

Καθώς η θερμοκρασία του κολλοειδούς διαλύματος εξακολουθεί να αυξάνεται οι αμυλόκοκκοι συνεχώς διογκώνονται και λόγω συχνών μεταξύ τους συγκρούσεων αυξάνουν το ιξώδες του διαλύματος. Εάν το διάλυμα σε αυτή την κατάσταση αναθευτεί η διογκωμένη δομή σπάει και το ιξώδες μειώνεται σημαντικά. Εάν το διάλυμα ψυχθεί γρήγορα σχηματίζονται νέοι διαμοριακοί δεσμοί υδρογόνου που έχουν σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό πηκτής. Αν πάλι ψυχθεί αργά σχηματίζεται ίζημα από σφαιρικούς κρυστάλλους, το φαινόμενο καλείται «αποδυνάμωση» και εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος των αμυλόκοκκων και από τη θερμοκρασία.

Προζελατινοποιημένο άμυλο, είναι το άμυλο που έχει υποστεί θερμική κατεργασία και ψύξη, το οποίο σε ψυχρό νερό σχηματίζει κολλοειδές διάλυμα.



Σχήμα 3: Σχηματική παράσταση της συμπεριφοράς του αμύλου κατά τη διογκωση, τη διάλυση, επαναβάθμιση και τον σχηματισμό πηκτής (Τζια et al., 2009)

2.4. Λιπαρά οξέα

2.4.1. Δομή λιπαρών οξέων

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων με μια μεθυλική ομάδα από τη μια πλευρά και μια καρβοξυλική ομάδα από την άλλη. Είναι αλειφατικά μονοκαρβονικά οξέα, που απαντούν στη φύση και έχουν σχεδόν πάντα άρτιο αριθμό ατόμων άνθρακα. Κάθε άτομο άνθρακα είναι συνδεδεμένο με μερικά άτομα υδρογόνου. Ο ακριβής αριθμός των ατόμων υδρογόνου εξαρτάται από το κατά πόσο ο κάθε άνθρακας είναι κορεσμένος ή όχι.

Τα λιπαρά οξέα αναλόγως αν έχουν διπλούς δεσμούς ή όχι στην αλειφατική τους αλυσίδα διακρίνονται σε ακόρεστα και σε κορεσμένα λιπαρά οξέα αντίστοιχα. Αν διαθέτουν ένα διπλό δεσμό ονομάζονται μονοακόρεστα λιπαρά οξέα και αν έχουν

δύο ή περισσότερα, ονομάζονται πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (Choudhury et al., 1980)

Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα συναντώνται κυρίως στα ζωικής προέλευσης προϊόντα, όπως το κρέας, τα ψάρια, το βούτυρο κ.α., ενώ τα ακόρεστα συναντώνται κυρίως σε φυτικά προϊόντα και σε πολλούς ελαιούχους σπόρους, όπως λιναρόσπορος, καλαμπόκι και σε ξηρούς καρπούς. Ορισμένα λιπαρά ψάρια περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ακόρεστων λιπαρών οξέων, όπως το παλμιτικό (16:0) και το στεατικό (18:0), ενώ σε ορισμένα φυτικά έλαια (φοινικέλαιο κ.α.) συναντώνται σε υψηλή αναλογία λιπαρά οξέα όπως το λαυρικό (12:0) και το μυριστικό (12:0). (Hulshof et al., 1999)

Τα λιπαρά οξέα που έχουν μικρό μήκος αλειφατικής αλυσίδας έχουν χαμηλότερο σημείο τήξης σε σύγκριση με τα μεγάλου μήκους αλυσίδας, ενώ τα ακόρεστα λιπαρά οξέα σε σύγκριση με τα κορεσμένα ίδιου μήκους αλυσίδας, παρουσιάζουν χαμηλότερο σημείο τήξης. (Chayanoot et al., 2005)

2.5. Κονιοποίηση προϊόντων

2.5.1 Δυνάμεις που χρησιμοποιούνται στην κονιοποίηση

Στον θρυμματισμό προϊόντων τροφίμων, ο μηχανισμός βασίζεται στη παραμόρφωση του τεμαχίου μέχρι να σπάσει και τέτοια θραύση μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή ποικίλων δυνάμεων. Οι τύποι των δυνάμεων που χρησιμοποιούνται συνήθως στην επεξεργασία τροφίμων είναι θλίψη, κρούση, τριβή ή διάτμηση και κοπή. Σε μια λειτουργία θρυμματισμού, συνήθως ενεργούν περισσότερες από μία δυνάμεις. Δυνάμεις συμπίεσης χρησιμοποιούνται για χοντρό άλεσμα των σκληρών υλικών. (Barbosa et al., 2005)

Ο όρος «χονδροειδής συντριβή» δίνεται για σωματίδια μεγέθους περίπου 3 nm. Δυνάμεις πρόσκρουσης σχετίζονται με χοντρή, μεσαία και λεπτή άλεση. Οι δυνάμεις διάτμησης ή τριβής εφαρμόζονται σε λεπτή θρυμματίση, όταν το μέγεθος των προϊόντων μπορεί να φτάσει το εύρος του μικρομέτρου. Τέλος, η κοπή δίνει ένα σαφές μέγεθος των σωματιδίων και μπορεί να προκαλέσει ακόμη και ένα συγκεκριμένο σχήμα. (Barbosa et al., 2005)

2.5.2 Μηχανική αντοχή στην κονιοποίηση

Αναφέρεται σε όλες τις ιδιότητες που περιγράφουν τη συμπεριφορά ενός στερεού υλικού, όπως για παράδειγμα όταν αυτό σπάει ή παραμορφώνεται υπό τη μορφή μιας εφαρμοζόμενης δύναμης. Η παραμόρφωση ενός συγκεκριμένου υλικού μπορεί να είναι ελαστική, όταν η εφαρμοζόμενη πίεση παραμένει κάτω από μία οριακή τιμή, ή ανελαστική. Το υλικό βιώνει ελαστική παραμόρφωση όταν επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα, την στιγμή όπου η δύναμη αφαιρείται. Εάν η πίεση υπερβεί το όριο ελαστικότητας, το υλικό υποβάλλεται σε μόνιμη (ανελαστική) παραμόρφωση μέχρι να φτάσει το όριο θραύσης, όπου αρχίζει να ραγίζει (περιοχή ελατότητας) υπό την επίδραση της εφαρμοζόμενης πίεσης μέχρι να σπάσει τελικά. Αυτή η διαδικασία καθορίζει το ελαστικό όριο καταπόνησης, τη θραυστική τάση, και την περιοχή της ελατότητας. Καθώς το σωματίδιο σπάει δημιουργούνται κατά μήκος ρωγμές ή ελαττώματα στη δομή του. Ένα μεγάλο σωματίδιο με πολλές ατέλειες μπορεί να σπάσει με μία μικρή μόλις πίεση, με μία πολύ μικρή παραμόρφωση. Αντίθετα ένα μικρότερο κομμάτι έχει λιγότερα ελαττώματα και συνεπώς έχει μεγαλύτερη αντοχή θραύσεως. Αυτός είναι ο λόγος που η άλεση είναι τόσο δύσκολο να επιτευχθεί κάτω από ένα ορισμένο μέγεθος. (Barbosa-Canovas et al., 2005)

Η ελαστική κατάσταση περιγράφεται από το νόμο του Hooke ($F = k \cdot x$). Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το μέτρο ελαστικότητας k , το οποίο είναι η πίεση που προκαλεί μεταβολή στη μονάδα μήκους προς στην ίδια κατεύθυνση με την εφαρμοζόμενη δύναμη. Ο συντελεστής Poisson ή μαζικό μέτρο ελαστικότητας επιτρέπει την πρόβλεψη της εγκάρσιας συστολής ή διαστολής που παρουσιάζεται, όταν μία δύναμη εφαρμόζεται κατά μήκος. Ανελαστική συμπεριφορά συμβαίνει, όταν εφαρμόζονται τάσεις μεγαλύτερες από το όριο ελαστικότητας, αλλά μικρότερες από το όριο θραύσης. Η συμπεριφορά περιγράφεται από ιξωδοελαστικά μοντέλα (όπως το μοντέλο Maxwell ή μοντέλο Kelvin), τα οποία συνδυάζουν στοιχεία από ιξωδοελαστικό υγρό και στοιχεία από ιξωδοελαστικό στερεό αντίστοιχα. . (Barbosa-Canovas et al., 2005)

Η πίεση μπορεί να εφαρμοστεί στο σωματίδιο με μια ποικιλία τρόπων, όπως έλξη, συμπίεση ή διάτμηση (ή συνδυασμό αυτών των μεθόδων). Αν και τα όρια αντοχής δεν είναι τα ίδια για τις διαφορετικές λειτουργίες υπάρχει σαφώς μια

συσχέτιση μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, είναι συχνά δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μια δοκιμή συμπίεσης ως ένδειξη του φορτίου θραύσεως. Δεδομένου ότι το σπάσιμο πραγματοποιεί τις ρωγμές κατά μήκος, σε ορισμένα υλικά το σημείο όπου πραγματοποιείται η θραύση μετريέται με συμπίεση και είναι συνήθως υψηλότερη από όταν μετράτε με έλξη: η ένταση ενισχύει τις ρωγμές, ενώ συμπίεση τείνει να τις κλείνει. . (Barbosa-Canovas et al., 2005)

2.5.3 Ιδιότητες των κονιοποιημένων προϊόντων

Η κατανομή του στερεού υλικού γίνεται μέσω της εφαρμογής των μηχανικών δυνάμεων οι οποίες προσβάλλουν τις ρωγμές που υπάρχουν στην αρχική δομή. Το προβλέψιμο σχήμα των προϊόντων έχει να κάνει με την μοριακή δομή, εφόσον το πυρίτιο και ο άνθρακας, τα στοιχεία της ίδιας ομάδας του περιοδικού πίνακα, είναι γενικά βασικά συστατικά των κρυσταλλικών μονάδων που σχηματίζονται με την στερεά “μήτρα”. Με αυτή την έννοια, ένας καλός αριθμός υλικών τροφίμων θα παρουσιάσει την σκληρότητα που συνδέεται με την άκαμπτη δομή των παραγώγων του άνθρακα.

Ένα ιδανικό σχέδιο μείωσης του μεγέθους, για να επιτευχθεί μια υψηλής αναλογίας μείωση των σκληρών εύθραυστων υλικών των τροφίμων, όπως η κρυσταλλική ζάχαρη ή τα ξηρά δημητριακά, θα μπορούσε να είναι αρχικά η συμπίεση, στη συνέχεια η χρήση δυνάμεων πρόσκρουσης και τέλος κοπή ή τρίψιμο. . (Barbosa-Canovas et al., 2005)

2.5.4 Νόμοι της κονιοποίησης

Κατά τη διάσπαση των σκληρών και εύθραυστων στερεών υλικών των τροφίμων, τα δύο στάδια της θραύσης που αναγνωρίζονται είναι: (α) αρχική θραύση κατά μήκος των υπαρχόντων ρωγμών εντός της δομής του υλικού και (β) ο σχηματισμός νέων ρωγμών που ακολουθείται από τη θραύση κατά μήκος αυτών των ρωγμών. Είναι επίσης αποδεκτό ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας που παρέχεται από τον εξοπλισμό άλεσης πράγματι χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της διάσπασης. Η άλεση είναι μια αναποτελεσματική διαδικασία, ίσως η πιο αναποτελεσματική από τις παραδοσιακές λειτουργίες της μονάδας. Ένα μεγάλο μέρος της εισερχόμενης ενέργειας χάνεται στη παραμόρφωση των σωματιδίων εντός

ελαστικών ορίων και μέσω της διασωματιδιακής τριβής. Μια μεγάλη ποσότητα αυτής της χαμένης ενέργειας απελευθερώνεται ως θερμότητα η οποία, με τη σειρά της, μπορεί να είναι υπεύθυνη για τη θερμική βλάβη βιολογικών υλικών. . (Barbosa-Canovas et al., 2005)

Οι ιδιότητες των τροφίμων συχνά ποικίλλουν σημαντικά σε περιεκτικότητα σε υγρασία και την κατανομή του νερού στο υλικό. Περαιτέρω επιπλοκές οφείλονται στο γεγονός ότι αυτές οι ιδιότητες είναι συχνά έντονα ανισοτροπικές, με διάφορα στρώματα ή μέρη που έχουν πολύ διαφορετικές μηχανικές αντοχές. Επιπλέον, οι ιδιότητες των υλικών μπορεί να ποικίλουν με την ταχύτητα με την οποία εφαρμόζεται η πίεση: ορισμένα υλικά είναι πλαστικά και όλκιμα αν η πίεση εφαρμόζεται αργά, αλλά μπορεί να είναι και ελαστικά ή εύθραυστα αν η πίεση εφαρμόζεται με πρόσκρουση. Κατά συνέπεια δεν είναι εύκολο να περιγραφθεί ένα υλικό. (Barbosa-Canovas et al., 2005)

Η ενέργεια που απαιτείται για να προκαλέσει ρήξη είναι το έργο που απαιτείται για την παραμόρφωση του υλικού συν την ενέργεια που απαιτείται για να σχηματιστεί η νέα επιφάνεια. Η τελευταία δίνεται από:

$$E = (\sigma \cdot A)$$

όπου σ είναι η διεπιφανειακή ενέργεια της επιφάνειας και το A είναι το εμβαδόν επιφανείας

2.5.5 Μύλοι μάλαξης

Οι μύλοι μάλαξης χρησιμοποιούνται συχνά από τις βιομηχανίες για λεπτή άλεση. Οι μύλοι βασίζονται σε μια οριζόντια αργή ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου, μερικώς γεμάτη είτε με σφαίρες ή ράβδους. Το κέλυφος του κυλίνδρου είναι συνήθως από χάλυβα, με επένδυση από πλάκα άνθρακα-χάλυβα, πορσελάνη, διοξείδιο του πυριτίου, ή καουτσούκ. Οι μπάλες κανονικά κατασκευάζονται από χάλυβα ή πυριτόλιθο, ενώ οι ράβδοι είναι συνήθως κατασκευασμένοι από χάλυβα υψηλού άνθρακα. Ο τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού είναι σχετικά απλός. Ο κύλινδρος περιστρέφεται και το υλικό που βρίσκεται μέσα και γεμίζει τα κενά διαστήματα, πέφτει πάνω στον περιστρεφόμενο πλέον κύλινδρο. Επίσης οι σφαίρες ή οι ράβδοι που υπάρχουν μέσα πέφτουν πάνω στο υλικό και το αλέθουν. Ο

συνδυασμός των δυνάμεων πρόσκρουσης και διάτμησης επιφέρει μια πολύ αποτελεσματική μείωση του μεγέθους. (Barbosa-Canovas et al., 2005)

2.6 Τεχνική ξήρανσης με ψεκασμό

2.6.1 Ατομοποίηση

Με τον όρο ξήρανση ορίζεται η υγρασία που αφαιρείται από ένα υγρό τρόφιμο κι έτσι το υγρό προϊόν παίρνει τη μορφή του στερεού. Οι μικροοργανισμοί δεν είναι ικανοί να αναπτυχθούν σε προϊόν με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα νερού. Έτσι το να ξηραθεί ένα τρόφιμο αυξάνει τη διάρκεια ζωής του και ταυτόχρονα μειώνεται το βάρος και ο όγκος του. Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται το κόστος μεταφοράς του. (Gösta, 1995) Η ατομοποίηση ορίζεται ως η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων μιας σκόνης ή σταγονιδίων ενός υγρού εναιωρήματος. Στην ξήρανση δια ψεκασμού, τα σταγονίδια ξηραίνονται και παίρνουν τη μορφή σωματιδίου πάρα πολύ γρήγορα. Αυτό προκαλεί το σχηματισμό πολύ μεγάλων επιφανειών (1 m^3 υγρού που ψεκάζεται σε σταγονίδια των $100 \mu\text{m}$ μεσαίου μεγέθους δίνει 60000 m^2 επιφάνειας) που εκτίθεται στο αέριο ξήρανσης. Αυτή η μεγάλη περιοχή επιφάνειας διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας από το θερμό αέριο ξήρανσης στα κωνιορτοποιημένα σωματίδια ρευστού. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η εξάτμιση του νερού σε δευτερόλεπτα. Το ιξώδες του προϊόντος που πρόκειται να αποξηραθεί δεν πρέπει αν είναι πολύ μεγάλο διότι μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα έμφραξης στους σωλήνες. Οι φυσικές ιδιότητες πρέπει να επιτρέπουν την ομαλή και ομοιόμορφη ροή. (Krziztof et al., 2009)

2.6.2. Υλικά και παράμετροι διαδικασίας

Το μείγμα βρίσκεται σε δεξαμενή ανάδευσης. Μεταφέρεται με τη βοήθεια μιας αντλίας στον πύργο εκνέφωσης. Η διαδικασία της ξήρανσης είναι η εξής:

- Ατομοποίηση της ποσότητας του μίγματος σε πολύ μικρά σταγονίδια μέσω ρεύματος καυτού αέρα
- Εξάτμιση νερού
- Διαχωρισμός της σκόνης από τον αέρα ξήρανσης

Η εξάτμιση είναι απαραίτητο να παράγει υψηλής ποιότητας σκόνη. Χωρίς μεγάλη συγκέντρωση του υλικού τα σωματίδια σκόνης θα είναι πολύ μικρά και θα έχουν εγκλωβισμένο ποσοστό αέρα, μικρή διάρκεια ζωής και φτωχή διαβροχική ικανότητα. Και τελικά η διαδικασία παραγωγής θα είναι πολύ ακριβή. (Gösta, 1995)

Εκνέφωση ενός σταδίου ξήρανσης

Η πιο απλή εγκατάσταση για παραγωγή σκόνης. Αποτελείται από ένα θάλαμο ξήρανσης με σύστημα ατομοποίησης, θέρμανση αέρα, σύστημα συλλογής του τελικού προϊόντος μετά τη ξήρανση και ανεμιστήρα που ρουφά την απαραίτητη ποσότητα αέρα. Σε αυτό το μόνο στάδιο ξήρανσης παράγεται σκόνη με μικρό μέγεθος σωματιδίων και υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης. (Gösta, 1995)

Το σχήμα 4 δείχνει την λειτουργία του ενός σταδίου ξήρανσης. Το μίγμα τροφοδοτείται μέσω σωλήνα υψηλής πίεσης (4) προς το σύστημα ατομοποίησης (5) καταλήγοντας στην κορυφή του θαλάμου. Το σύστημα παράγει πολύ μικρά σωματίδια 40-125 μm. (Gösta, 1995)



Σχήμα 4: Συμβατικός ξηραντήρας εκνέφωσης (ξήρανση ενός σταδίου) με κωνική βάση θαλάμου

(Gösta, 1995)

Ο αέρας περνά συνήθως από φίλτρο και στη συνέχεια θερμαίνεται. Αναλόγως την επιθυμητή θερμοκρασία, ο αέρας μπορεί να θερμανθεί πάνω από 190-200 °C. Έμμεση θέρμανση μπορεί να βελτιστοποιήσει την οικονομική ενέργεια του συστήματος. Ο εισερχόμενος αέρας προθερμαίνεται. Ανάλογα με το προϊόν, ο εισερχόμενος αέρας θερμαίνεται σε βαθμούς 15-210 °C. Ο θερμός αέρας ρέει μέσω

ενός σωλήνα ο οποίος εξασφαλίζει ότι ο αέρας θα ταξιδεύει με ομοιόμορφη ταχύτητα στον θάλαμο ξήρανσης όπου θα αναμιγνύεται με το προϊόν. Το ελεύθερο νερό εξατμίζεται κατευθείαν όταν το προϊόν εισέρχεται στον θάλαμο ξήρανσης. Το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια του προϊόντος. Μόλις εξατμιστεί, η υγρασία από το εσωτερικό του προϊόντος κινείται προς την επιφάνεια, όπου και εξατμίζεται ξανά από εκεί και αυτό συμβαίνει μέχρι να εξατμιστεί ολόκληρη η ποσότητα του ελεύθερου νερού. Το νερό που εξατμίζεται συνενώνεται με τον αέρα θέρμανσης. Γι' αυτόν τον λόγο το προϊόν θερμαίνεται κατά 15-20 °C λιγότερο από τον αέρα που υπάρχει στον θάλαμο ξήρανσης, ο οποίος κάτω από συνηθισμένες συνθήκες είναι 60-80 °C. Η εξάτμιση του νερού από τα σωματίδια οδηγεί σε σημαντική μείωση του βάρους, του όγκου και της διαμέτρου τους. Υπό ιδανικές συνθήκες ξήρανσης το βάρος μειώνεται περίπου κατά 50 %, ο όγκος περίπου κατά 40% και η διάμετρος περίπου κατά 75%. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης η σκόνη κατακάθεται στον πυθμένα του θαλάμου και μεταφέρεται σε ένα χώρο συλλογής όπου και αποθηκεύεται. Η μεταφορά γίνεται με κρύο ρεύμα αέρα, ο οποίος και ψύχει το ζεστό προϊόν. Μέσω ενός κυκλώνα διαχωρίζεται η σκόνη από τον κρύο αέρα μεταφοράς. (Gösta, 1995)

Μπορεί να υπάρξουν συστήματα με δύο στάδια ξήρανσης και με τρία στάδια ξήρανσης.

Η ξήρανση με τον ψεκασμό είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως για την ξήρανση θερμοευαίσθητων τροφών, φαρμακευτικών προϊόντων και άλλων ουσιών εξαιτίας της πολύ γρήγορης εξάτμισης του νερού από τα σωματίδια. Η εξάτμιση με ψεκασμό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως μέθοδος ενθυλάκωσης. (Re, 2008)

Η πρώτη αναφορά της εφαρμογής αυτής της μεθόδου ξήρανσης προέρχεται από το έτος 1860 και το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σχετικά με ξήρανση με ψεκασμό καταγράφηκε το 1872. Οι ξηραντήρες εκνέφωσης εκείνης της εποχής ήταν πρωτόγονες συσκευές και υπήρχαν πολλά προβλήματα με την αποτελεσματικότητα και τη συνεχόμενη διαδικασία καθώς και την ασφάλεια. Λόγω αυτών των προβλημάτων οι μελέτες διακόπηκαν μέχρι το 1920 η οποία ήταν η χρονιά εξέλιξης της διαδικασίας και την έκανε απόλυτα σημαντική όπως άλλωστε είναι και σήμερα. Η πραγματική έκρηξη στην τεχνολογία με ψεκασμό έγινε τον Δεύτερο Παγκόσμιο

Πόλεμο κατά τον οποίο προέκυψε μεγάλη ανάγκη για μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων τροφής, προκαλώντας έτσι καινούριες έρευνες για μεθόδους μείωσης βάρους και όγκου των τροφών καθώς και έρευνες για την καλύτερη και μεγαλύτερη σε διάρκεια συντήρησή τους. Η ξήρανση με ψεκασμό αποδείχτηκε ότι είναι η ιδανική τεχνική για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων. Κατά τη διάρκεια τη μεταπολεμικής περιόδου η εφαρμογή της μεθόδου ξήρανσης με ψεκασμό κατευθύνεται επίσης προς τη φαρμακευτική βιομηχανία. Στα επόμενα χρόνια η έμφαση δόθηκε στα χαρακτηριστικά των προϊόντων και όχι πια στην κατασκευή των μηχανημάτων. Οι πρώτες σκόνες που παράγονταν χαρακτηρίζονταν από φτωχή ικανότητα ροής. Οι σκόνες ήταν επίσης χημικά ασταθείς και δύσκολο να αποθηκευτούν. Παρ' όλες αυτές τις ενοχλήσεις τα αποτελέσματα της μεθόδου ξήρανσης με ψεκασμό ήταν καλύτερα από αυτά άλλων μεθόδων. Μετά από 150 περίπου χρόνια έρευνας, η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί το πιο ισχυρό τεχνολογικό εργαλείο και μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους ξήρανσης. Παρόλα αυτά η μέθοδος συνεχίζει να αποτελεί ένα πεδίο για έρευνα και ανάπτυξη για τους επιστήμονες. (Krziztof et al., 2009) Σε σύγκριση με τις άλλες συμβατικές τεχνικές εγκλεισμού, προσφέρει το ελκυστικό πλεονέκτημα του να παράγει μικροκάψουλες με μια σχετικά απλή και συνεχή λειτουργία επεξεργασίας. (Re, 2008)

Οι μεγαλύτεροι λόγοι για τη χρησιμοποίηση της μικροενθλάκωσης περιλαμβάνουν :

- προστασία του προϊόντος από το περιβάλλον (θερμοκρασία, ακτίνες UV, υγρασία, αντιδράσεις με άλλα υλικά)
- προστασία του περιβάλλοντος από επικίνδυνα ή τοξικά προϊόντα, έτσι με αυτόν το τρόπο αυτό το υλικό θα είναι ασφαλέστερο
- μείωση του ρυθμού εξάτμισης ή τη μεταφορά υλικού του πυρήνα προς το περιβάλλον
- καλύτερη μίξη και αποφυγή δημιουργίας θρόμβων
- κάλυψη των ανεπιθύμητων ιδιοτήτων του δραστικού συστατικού πχ γεύση ή οσμή

- έλεγχος της απελευθέρωσης της δραστικής ουσίας κάτω από επιθυμητές συνθήκες.

Ουσιαστικά, οποιοδήποτε υλικό χρειάζεται να προστατευθεί, να απομονωθεί ή να ελέγχεται η απελευθέρωση του μπορεί να ενθυλακώνεται. Τα οφέλη της ελεγχόμενης απελευθέρωσης που δίνονται από τις μικροκαψούλες είναι προφανώς για φαρμακευτικές εφαρμογές. Υδρολυμένα άμυλα (μαλτοδεξτρίνες, σιρόπι αραβόσιτου) και τροποποιημένα άμυλα χρησιμοποιούνται εκτενώς για την ενθυλάκωση με ξήρανση με ψεκασμό των συστατικών των τροφίμων λόγω της υδατοδιαλυτότητας τους, του χαμηλού ιξώδους και την ευκολία των συνθηκών ξήρανσης. (Re, 2008)

2.6.3 Φάσεις και κανόνες της ξήρανσης με ψεκασμό

Για τον χειριστή, η διαδικασία της ξήρανσης με ψεκασμό μπορεί να θεωρηθεί ένα από τα πιο πολύπλοκα είδη ξήρανσης, διότι ο χειριστής έχει άμεση σχέση με:

- τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα ξήρανσης
- το ρυθμό ροής του αέρα ξήρανσης
- το ρυθμό παροχής του υγρού ρεύματος και
- την πίεση (και ποσότητα) του αέρα ψεκασμού

Άλλες παράμετροι που χαρακτηρίζουν την διαδικασία:

- η θερμοκρασία εξόδου του αέρα ξήρανσης
- το μέγεθος του σταγονιδίου
- η απόδοση ξήρανσης (μάζα προϊόντος) και
- οι φυσικές ιδιότητες του ξηρού προϊόντος

Π.χ., το μέγεθος των σωματιδίων, η περιεκτικότητα σε υγρασία, και η υγροσκοπικότητα εξαρτώνται από τις αμοιβαίες σχέσεις των παραμέτρων που ρυθμίζονται από τον χειριστή. (Re, 2007)

2.6.4. Επεξεργασία διεύρυνσης μεγέθους

Ο όρος «διεύρυνση μεγέθους» περιλαμβάνει μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες συνδυάζουν σκόπιμα μικρά σωματίδια σε μεγάλες σταθερές μάζες στις οποίες οι αρχικές πρωτογενείς μονάδες εξακολουθούν να είναι αναγνωρίσιμες. Οι εφαρμογές στην επεξεργασία των τροφίμων είναι εκπληκτικά πολλές και γίνονται όλο και πιο

σημαντικές, καθώς τα «δομημένα» τρόφιμα έχουν αναπτυχθεί. Στις βιομηχανίες η διεύρυνση μεγέθους γίνεται για διάφορους λόγους όπως για παράδειγμα η βελτίωση της διακίνησης και της ρευστότητας, μείωση των σωματιδίων της σκόνης, παραγωγή χρήσιμων δομικών μορφών, ενίσχυση εμφάνισης, κλπ. Οι ενέργειες για την διεύρυνση του μεγέθους έχουν διάφορα ονόματα μερικά από τα οποία είναι τα παρακάτω: κοκκοποίηση, σφαιροποίηση, ενθυλάκωση. Η πλινθοποίηση και η διεργασία με δίσκους είναι σημαντικές για τις χημικές και φαρμακευτικές ιδιότητες, όπου τα εν λόγω συστατικά τροφίμων, όπως η δεξτρόζη, ζελατίνη, γλυκόζη, σακχαρόζη, λακτόζη, άμυλο, και κόμμεα τροφίμων χρησιμοποιούνται ως συνδετικά.(Barbosa et al., 2005)

Στη βιομηχανία τροφίμων, ο όρος "συσσώρευση", εφαρμόζεται στην επεξεργασία κατά την οποία ο κύριος στόχος της είναι να ελεγχθεί το πορώδες και η πυκνότητα των υλικών προκειμένου να επηρεάσει τις ιδιότητες όπως η ικανότητα διασποράς και διαλυτότητα.(Barbosaetal., 2005)

2.6. 5. Βασική συσσωμάτωση

Η συσσωμάτωση μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία με την οποία τα σωματίδια ενώνονται ή συνδέονται το ένα με το άλλο, με ένα τυχαίο τρόπο, που τελειώνει με μια συνολική πορώδη δομή πολύ μεγαλύτερη σε μέγεθος από το αρχικό υλικό. Ο όρος περιλαμβάνει ποικίλες λειτουργίες και τεχνικές επεξεργασίας με σκοπό την συσσωμάτωση σωματιδίων. Κονιοποιημένα τρόφιμα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μίγμα οργανικών ενώσεων, και ως τέτοια δεν κατέχουν καθόλου ακριβές σημείο τήξεως. Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, τα σωματίδια των τροφίμων αρχίζουν να «κολλάνε» μεταξύ τους. Το σημείο συγκόλλησης εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε υγρασία που βρίσκεται στη σκόνη. (Barbosa et al., 2005)

Η ισχύς ενός συσσωματώματος εξαρτάται από το πόσο ισχυροί είναι οι δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί στο συσσωμάτωμα. Είναι συχνά δύσκολο να υπολογιστεί η αντοχή των συσσωματωμάτων σε όποιο τύπο δύναμης και αν βασίζεται. Για να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας κοκκοποίησης, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει θεωρητικά μοντέλα για να περιγράψουν την αντοχή των

συσσωματωμάτων. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας της κονιοποίησης έχουν απλοποιηθεί οι υποθέσεις που έχουν γίνει και ισχύουν :

- Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεσμών κατά μήκος της διατομής.
- Οι δεσμοί είναι στατιστικώς κατανεμημένοι σε όλη την ενότητα του τμήματος.
- Η αντοχή των δεσμών μεταξύ των σωματιδίων είναι ισοδύναμη με την μέση τιμή του συσσωματώματος. (Barbosa et al., 2005)

2.6.6. Δυνάμεις έλξης μεταξύ των στερεών σωματιδίων

Δυνάμεις Van der Waals έχουν την ικανότητα να δρουν σε πολύ ,μικρές αποστάσεις. Είναι επιφανειακές δυνάμεις, ευνοούν τη σταθερότητα συσσωματωμάτων και προκύπτουν με τις αλλαγές των επιφανειών των σωματιδίων. Η ικανότητα τους να κρατάνε σταθερό το συσσωμάτωμα εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη σύνθεση των σωματιδίων. (Barbosa et al., 2005)

2.6.7. Μέθοδοι συσσωμάτωσης

Οι βασικές αρχές της κονιοποίησης τροφίμων σε σκόνη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: μείωση με ξήρανση, αύξηση με επαναυγροποίηση του συσσωματώματος, πίεση του συσσωματώματος και άλλες επεξεργασίες (όπου περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων και η συσσωμάτωση με μηχανισμό εκνέφωσης (spraydrier) , ο συνδυασμός του με μείωση/ αύξηση, και ψύξη και η ξήρανση) (Barbosa et al., 2005)

Επίσης τα συσσωματώματα μπορούν να αποκτηθούν είτε χρησιμοποιώντας δεσμούς είτε χωρίς. Η μέθοδος μείωση/αύξηση παράγει συσσωματώματα που έχουν περίπου σφαιρικό σχήμα κατά τη διάρκεια θρυματοποίησης των στερεών σωματιδίων (Barbosa et al., 2005)

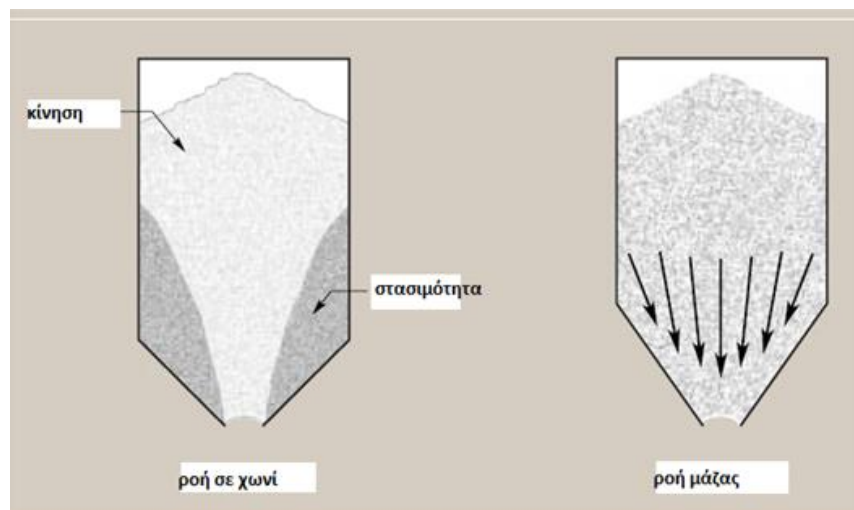
2.6.8. Καθορισμός ικανότητας ροής

Ένας απλός ορισμός της ικανότητας ροής μια σκόνης είναι η ικανότητα της να ρέει. Από αυτόν τον ορισμό, μερικές φορές μπορεί να χαρακτηριστεί η διάσταση της σκόνης, όπου η σκόνη κατατάσσεται σε μία κλίμακα με το ένα άκρο ως «ελεύθερη ροή» και το άλλο ως «μη ελεύθερη ροή». Δυστυχώς η απλή αυτή μέθοδος

παρουσιάζει πολλές ελλείψεις στην επιστήμη και προκαλεί πολλά προβλήματα όπως για παράδειγμα την σαφή κατανόηση και κατά συνέπεια στην αντιμετώπιση προβλημάτων από τους σχεδιαστές του εξοπλισμού. (Prescott et al., 2000)

Αυτοί που δουλεύουν με σκόνες, σε εργαστήρια ή στην παραγωγή, γρήγορα καταλαβαίνουν ότι η ροή της σκόνης είναι ένα περίπλοκο θέμα. Η συμπεριφορά της ροής είναι πολυδιάστατη και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της σκόνης. (Prescott et al., 2000)

Πρέπει να αναφερθεί ότι η ικανότητα ροής δεν θα έπρεπε να εκφράζεται ως δείκτης ή ως τιμή. Στην πραγματικότητα η ικανότητα ροής δεν είναι καθόλου μια εγγενής ιδιότητα αλλά ένα αποτέλεσμα συνδυασμού των φυσικών ιδιοτήτων που επηρεάζουν την ροή του υλικού και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση, διαδικασία παραγωγής, αποθήκευσης του υλικού. Έτσι, η ίδια σκόνη μπορεί να ρέει ικανοποιητικά από ένα χωνί και φτωχά σε ένα άλλο. Έτσι ένας πιο ακριβής προσδιορισμός για την ικανότητα ροής μιας σκόνης είναι η ικανότητα της σκόνης να ρέει με επιθυμητή συμπεριφορά σε συγκεκριμένο κομμάτι εξοπλισμού. Με αυτόν τον προσδιορισμό ο όρος ελεύθερη ροή, που τόσο συχνά χρησιμοποιείται, περιορίζεται από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. (Prescott et al., 2000)



Σχήμα 5: Παραδείγματα μαζικών ροών(Prescott et al., 2000)

Τα ειδικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν την ροή και μπορούν να μετρηθούν είναι γνωστά ως ιδιότητες ροής. Παραδείγματα των ιδιοτήτων ροής είναι η

πυκνότητα, η συνεκτικότητα και η τριβή. Αυτές οι ιδιότητες ροής αναφέρονται στην συμπεριφορά του υλικού και προκύπτουν από συλλογικές δυνάμεις δρώντας σε ατομικά σωματίδια. (δυνάμεις Van der Waals, ηλεκτροστατικές δυνάμεις, επιφανειακή ένταση, τριβή). (Prescott et al., 2000)

Αντιθέτως οι ιδιότητες ροής δεν αναφέρονται σε κανέναν εξοπλισμό στον οποίον επεξεργάστηκε τη σκόνη και για αυτόν το λόγο δεν πρέπει να μπερδεύονται με την έννοια της ικανότητας ροής και δεν πρέπει ο όρος «ροή σκόνης» να χρησιμοποιείται συνώνυμα του όρου «ιδιότητες ροής σκόνης». Η ροή σκόνης πρέπει να είναι μια παρατήρηση και πάντα να αναφέρεται στην περιγραφή του πώς ένα υλικό ρέει αναφέροντας τον εξοπλισμό στον οποίο ρέει όπως π.χ. “η ροή της σκόνης μέσω χωνιού είναι σταθερή.” (Prescott et al., 2000)

2.7 Μεταφορά σκόνης

Όταν σε μια διεργασία, για κάποιο λόγο, το υλικό πρέπει να μεταφερθεί, η μεταφορά πρέπει να γίνει μέσω ειδικού εξοπλισμού. Αυτή η μεταφορά συνήθως καθοδηγείται από την δύναμη της βαρύτητας και αυτό γίνεται τυπικά από ένα ανοιχτό δοχείο και αφήνοντας τη σκόνη να πέσει. Σε αυτό το σημείο εμπλέκεται μεγάλη ποσότητα σκόνης με πολλά σωματίδια να έρχονται σε επαφή το ένα με το άλλο και αυτή η επαφή μπορεί να αλλάζει συνεχόμενα. Το μέγεθος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί παίζει καθοριστικό ρόλο.



Σχήμα 6: Τρύπα λόγω κατάρρευσης της σκόνης (Prescott et al., 2000)

Προβλήματα που σχετίζονται με την σταθερότητα του αερισμού ή της πυκνότητας μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια του γεμίσματος της σκόνης στο χωνί, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πλημμύρα. Όταν η σκόνη καταρρέει από τη «στοίβα» που δημιουργείται, τα σωματίδια που πέφτουν δημιουργούν μια τρύπα από την οποία ενσωματώνεται αέρας και η σκόνη γίνεται

ρευστή. Αν ο εξοπλισμός δεν είναι κατάλληλος και δεν μπορεί να χειριστεί τη ρευστότητα των σωματιδίων τότε μπορεί τα σωματίδια να πλημμυρίσουν το σύστημα,

τα σωματίδια να βγουν εκτός ελέγχου και η συνολική πυκνότητα της σκόνης να πέσει δραματικά, επιδρώντας δραματικά στον εξοπλισμό. (Prescott et al., 2000)

2.8 Σκέδαση φωτός

Όταν μια δέσμη φωτός προσπέσει σε ένα υλικό, τα ηλεκτρόνια του υλικού αλληλοεπιδρούν με το φως, διεγείρονται και επανεκπέμπουν την αναρροφώμενη ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις με το ίδιο ακριβώς μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σκέδαση του φωτός ονομάζεται ο διασκορπισμός των φωτεινών ακτινών που λαμβάνει χώρα όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια, με αποτέλεσμα τη διάχυσή τους στο χώρο.

Η τεχνική της σκέδασης του φωτός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό μεγέθους σωματιδίων σε κolloειδή συστήματα, εναιωρήματα, κτλ. (Ζαχαρής, 2010) και αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πειραματικές τεχνικές για την αναγνώριση των πολυμερών σε αραιά διαλύματα. Συνίσταται στη μέτρηση της ακτινοβολίας η οποία σκεδάζεται από το διάλυμα, σε διάφορες κατευθύνσεις σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Η ένταση του σκεδαζόμενου φωτός εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των κέντρων σκέδασης, το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός, τις οπτικές ιδιότητες των σκεδασμών και τη γωνία παρατήρησης.

Η τεχνική της σκέδασης του φωτός διακρίνεται στη:

- Στατικήσκέδασηφωτός
- Δυναμικήσκέδασηφωτός (Ζαχαρής, 2010)

Η τεχνική της σκέδασης του φωτός είναι μια γρήγορη μέθοδος, μη καταστρεπτική για το δείγμα, απόλυτη (αφού δεν χρειάζεται βαθμονόμηση) και μπορεί να εφαρμοστεί σε συστήματα τα οποία αποτελούνται από μεγάλο αριθμό σωματιδίων.

Έχει όμως δύο μειονεκτήματα: το δείγμα δεν πρέπει να είναι πολύ πυκνό για να μην γίνεται πολλαπλή σκέδαση και δεν πρέπει να υπάρχει πουθενά στο σύστημα σκόνη, διότι τα σωματίδια σκόνης αποτελούν και αυτά κέντρα σκέδασης (Γκοτζαμάνης, 2007).

2.8.1 Στατική Σκέδαση Φωτός (Static Light Scattering, SLS)

Η τεχνική της στατικής σκέδασης του φωτός βασίζεται στην πολωσιμότητα των σωματιδίων, στα οποία επάγεται διπολική ροπή όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα

αλληλοεπιδρά με τα ηλεκτρόνια τους. Μετράται η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας υπό συγκεκριμένες γωνίες για ένα συγκεκριμένο εύρος συγκεντρώσεων του πολυμερούς στο διάλυμα. (Γκοτζαμάνης, 2007)

Υπάρχουν δυο κυρίως θεωρίες οι οποίες περιγράφουν τη στατική σκέδαση του φωτός και χρησιμοποιούνται ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Η πρώτη είναι η θεωρία Rayleigh που αναφέρεται στη σκέδαση του φωτός από ισότροπα αιωρούμενα σωματίδια με διαστάσεις μικρότερες από το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($<\lambda/20$). Η δεύτερη είναι η θεωρία Debye, η οποία περιγράφει τη σκέδαση φωτός από σωματίδια, των οποίων οι διαστάσεις είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($>\lambda/20$). (Γκοτζαμάνης, 2007)

2.8.2 Δυναμική Σκέδαση Φωτός (Dynamic Light Scattering, DLS)

Η δυναμική σκέδαση είναι επίσης γνωστή ως ψευδο-ελαστική σκέδαση φωτός (QELS) και φασματοσκοπία συσχέτισης φωτονίων. Η τεχνική της δυναμικής σκέδασης του φωτός χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του συντελεστή διάχυσης (μεταφοράς και περιστροφής) σε αραιά διαλύματα, του μεγέθους και του σχήματος των σωματιδίων (Γκοτζαμάνης, 2007)

2.8.3 Εφαρμογές της σκέδασης φωτός στην ανάλυση τροφίμων

Η τεχνική της σκέδασης του φωτός χρησιμοποιείται στην τεχνολογία τροφίμων για την αναγνώριση του μεγέθους διασπαρμένων σωματιδίων σε κolloειδή συστήματα (γάλα, μαγιονέζα) αλλά και για τον προσδιορισμό της κατανομής του μεγέθους σωματιδίων (πρωτεΐνες, πολυμερή, μικκύλια, υδατάνθρακες) σε υγρά συστήματα (γαλακτώματα, εναιωρήματα) (Ζαχαρής, 2010).

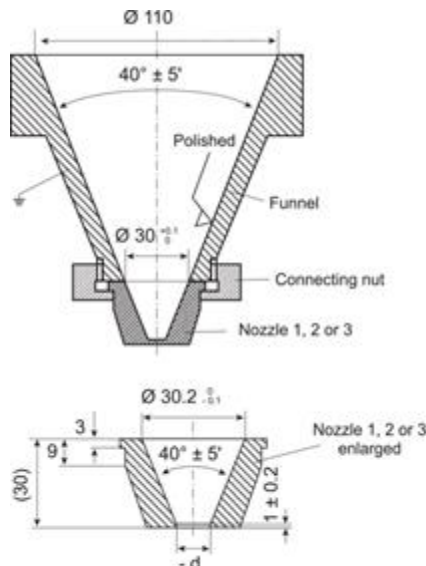
2.9 Μέθοδοι για τη μελέτη των ιδιοτήτων ροής

2.9.1 Τεστ ροής

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Φαρμακοποιία υπάρχουν διάφορες απλές μέθοδοι για να καθοριστούν γρήγορα τα χαρακτηριστικά ροής μιας σκόνης. Το τεστ της ικανότητας ροής της σκόνης έχει ως σκοπό να μετρήσει κατά πόσο η σκόνη είναι ικανή να ρέει κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

Ανάλογα με τις ιδιότητες ροής του υλικού που πρόκειται να ελεγχθεί, χρησιμοποιούνται χωνιά με ή χωρίς κορμό, με διαφορετικές γωνίες και διαμέτρους στομίων. Το χωνί παραμένει όρθιο από μια κατάλληλη συσκευή. Η κατασκευή θα πρέπει να προστατεύεται από δονήσεις. Οι διαστάσεις του χωνιού πρέπει να είναι:



Σχήμα 7: Απεικόνιση χωνιού

Πίνακας 1: Προδιαγραφές χωνιού

Στόμιο	Διάμετρος (d) του ανοίγματος της εξόδου ροής (cm)
1	10±0,01
2	15±0,01
3	25±0,01

Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τις συνθήκες αποθήκευσης του υλικού που πρόκειται να ελεγχθεί. Τα αποτελέσματα μπορούν να εκφραστούν με τους εξής τρόπους:

- Με τον τρόπο του προσδιορισμού, αν καμία από τις μεμονωμένες τιμές δεν παρεκκλίνει από την κύρια τιμή παραπάνω από το 10%
- Ως εύρος, αν οι μεμονωμένες τιμές παρεκκλίνουν από την κύρια τιμή παραπάνω από 10%
- Ως γραφική απεικόνιση της μάζας έναντι του χρόνου ροής
- Ως ένα άπειρο χρονικό διάστημα, αν το δείγμα δεν καταφέρει να τρέξει σε όλο από το χωνί

2.9.2 Γωνία εναπόθεσης

Η γωνία εναπόθεσης έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετούς επιστημονικούς κλάδους για να περιγράψει τις ιδιότητες ροής των στερεών. Η γωνία εναπόθεσης είναι ένα χαρακτηριστικό σχετικό με την ενδοσωματιδιακή τριβή, ή την αντίσταση στην κίνηση μεταξύ σωματιδίων. Τα αποτελέσματα του ελέγχου της γωνίας εναπόθεσης λέγεται ότι εξαρτώνται αρκετά από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται. Εμφανίζονται δυσκολίες στα πειράματα λόγω διαχωρισμού του υλικού και της σταθεροποίησης. Παρά τις δυσκολίες της, η μέθοδος συνεχίζεται να χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική βιομηχανία.

Ενώ υπάρχουν κάποιες παραλλαγές στην ποιοτική περιγραφή της ροής της σκόνης που χρησιμοποιεί τη γωνία εναπόθεσης, οι περισσότερες φαρμακευτικές βιβλιογραφίες φαίνεται ότι αρκούνται στην κατάταξη του Carr, που εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα. Υπάρχουν παραδείγματα στη βιβλιογραφία, όπου δείχνουν πως η δημιουργία μιας γωνίας εναπόθεσης της τάξης των 40-50 μοιρών λειτουργήσει ικανοποιητικά. Όταν η γωνία εναπόθεσης περνάει τις 50 μοίρες, η ροή σπάνια είναι αποδεκτή, για λειτουργικούς λόγους. Υπολογίζεται η γωνία εναπόθεσης (α) μετρώντας το ύψος της στοίβας της σκόνης και της βάσης της με βάση την παρακάτω ισότητα:

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{Ύψος}}{0,5 * \text{Βάση}}$$

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παραπάνω εξίσωση συγκρίνονται με τις τιμές του παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2: Ιδιότητες ροής και αντίστοιχες γωνίες εναπόθεσης

Ιδιότητες Ροής	Γωνία Εναπόθεσης (μοίρες)
Άριστη	25-30
Καλή	31-35
Ικανοποιητική (χωρίς βοήθεια)	36-40
Μέτρια (μπορεί να κρεμάσει)	41-45
Φτωχή (μπορεί να κουνήθηκε, δονήθηκε)	46-55
Πολύ φτωχή	56-65
Πάρα πολύ φτωχή	>65

2.9.3 Δείκτης Συμπιεστότητας και Αναλογία Hausner

Βλέποντας το πόσο έχει πακτωθεί ένα υλικό με τα χτυπήματα γίνεται αντιληπτό κατά πόσο είναι ικανό το κάθε δείγμα να πάρει μια τελική μορφή χαπιού. Με αυτές τις μετρήσεις προσδιορίζεται ο δείκτης συμπιεστότητας και η αναλογία Hausner. Ο δείκτης συμπιεστότητας έχει προταθεί ως έμμεση εκτίμηση της μαζικής πυκνότητας, του μεγέθους και του σχήματος, διότι όλα αυτά μπορούν να επηρεάσουν τον δείκτη συμπιεστότητας. Αυτός και η αναλογία Hausner ορίζονται εκτιμώντας και το μαζικό όγκο και την πυκνότητα συμπίεσης της σκόνης. Ο δείκτης συμπιεστότητας και η αναλογία Hausner μπορούν να υπολογιστούν με τις εξής εξισώσεις:

$$\text{Δείκτης Συμπιεστότητας} = 100 * \frac{V_o - V_f}{V_o}$$

$$\text{Αναλογία Hausner} = \frac{V_o}{V_f}$$

Όπου V_o είναι ο αρχικός όγκος και V_f ο τελικός όγκος συμπίεσης

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις συγκρίνονται με τον παρακάτω πίνακα ώστε να βγει συμπέρασμα για την ροή κάποιας σκόνης.

Πίνακας 3: Κλίμακα ροής

Δείκτης συμπιεστότητας (%)	Ικανότητα ροής	Αναλογία Hausner
1-10	Άριστη	1.00-1.11
11-15	Καλή	1.12-1.18
16-20	Ικανοποιητική	1.19-1.25
21-25	Μέτρια	1.26-1.34
26-31	Φτωχή	1.35-1.45
32-37	Πολύ φτωχή	1.46-1.59
> 38	Πολύ πολύ φτωχή	> 1.60

3. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθούν οι ικανότητες ροής σκόνης αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon και σε συνδυασμό) καθώς και οι ικανότητες ροής συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα με και χωρίς βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon και σε συνδυασμό) και να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ τους. Ζητείται να βρεθεί ποιο από τα δείγματα έχει την καλύτερη ικανότητα ροής σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Υλικά

Όργανα

- Ξηραντήρας εκνέφωσης(NIROATOMIZER, Denmark)
- Συσκευή προσδιορισμού μεγέθους σωματιδίων με δυναμική σκέδαση φωτός Mastersizer της εταιρείας (MALVERN, United Kingdom)
- Tapping machine(ERWEKA, Germany)
- Αναδευτήρας(PIERRE GUERIN S.A., Poland)
- Χωνί
- Περιστροφικός αποστειρωτήρας (ACB, France)
- Περιστροφική αντλία τύπου Mono (MonoPumpsLtd, England)
- Σφαιρόμυλος (FRITSCH,Germany)
- Πυραντήριο (GALLENKAMP, England)

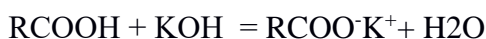
4.1 Πειραματική διαδικασία

Για τη δημιουργία σύμπλοκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα χρειάστηκε ένα μίγμα 100 kg αποτελούμενο από νερό, άμυλο, μυριστικό οξύ και καυστικό κάλιο. Το ποσοστό του αμύλου ήταν 5% κατά βάρος. Το ποσοστό της αμυλόζης που περιείχε το άμυλο ήταν 22% κατά βάρος. Το ποσοστό του μυριστικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 8% της αμυλόζης. Με τη βοήθεια του τύπου:

$$n = \frac{M}{mr}$$

όπου n είναι τα mol του μυριστικού ή του καυστικού καλίου, M είναι η μάζα και m_r είναι το μοριακό βάρος υπολογίστηκαν τα γραμμάρια μυριστικού οξέος και το καυστικού καλίου που χρησιμοποιήθηκαν . Ο λόγος της προσθήκης του μυριστικού οξέος και του καυστικού καλίου ήταν για να πραγματοποιηθεί σαπωνοποίηση. Σαπωνοποίηση ονομάζεται η διαδικασία της υδρόλυσης ενός εστέρα ανώτερων λιπαρών οξέων, με αλκαλική βάση KOH ή $NaOH$, για να σχηματιστεί μια αλκοόλη και το άλας ενός οξέος. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε καλύτερη διάλυση των λιπαρών οξέων στο μίγμα. Η αντίδραση που πραγματοποιήθηκε είναι μια απλή αντίδραση εξουδετέρωσης λιπαρού οξέος με βάση. Ο σάπωνας που παράχθηκε ήταν

μίγμα των αλάτων των λιπαρών οξέων που βρίσκονταν στο συγκεκριμένο είδος λαδιού, και σε αναλογία που ήταν σε συνάρτηση της αναλογίας τους στο αρχικό υλικό. Η αντίδραση είναι στοιχειομετρική, και για κάθε μόριο ελεύθερου λιπαρού οξέος απαιτείται ένα ισοδύναμο βάσης:



(Σπηλιόπουλος, 2008).

Έτσι μετά από υπολογισμούς βρέθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Τοποθετήθηκαν 97,319 kg νερό μέσα σε αναδευτήρα και θερμάνθηκαν στους 70°C. Αφού το νερό έφτασε στην επιθυμητή θερμοκρασία προστέθηκαν 5,681 kg άμυλο και αναμείχθηκαν για 1 ώρα. Ταυτόχρονα σε δοχείο ζέσεως αναμείχθηκαν 727 g νερό, 89,8 g μυριστικό οξύ, 25,4 g καυστικό κάλιο και ένας μαγνήτης ανάδευσης. Το δοχείο τοποθετήθηκε πάνω σε συσκευή ανάδευσης και θέρμανσης μέχρι να διαλυθεί το μίγμα. Στη συνέχεια προστέθηκε στον αναδευτήρα μαζί με το άμυλο. Το μίγμα ψύχθηκε στους 40°C.

4.1.1. Ξηραντήρας εκνέφωσης

Από τον αναδευτήρα μέσω μιας περιστροφικής αντλίας τύπου MONO μεταφέρθηκε το μίγμα στον ξηραντήρα εκνέφωσης, ώστε να αφαιρεθεί η υγρασία και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την σκόνη του αμύλου. Ρυθμίστηκε το μηχάνημα με θερμοκρασία εισόδου του αέρα στους 110°C και το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία. Η θερμοκρασία εξόδου ήταν 75°C. Η παροχή της τροφοδοσίας ήταν τόση, ώστε να μπορέσει η θερμοκρασία εξόδου να παραμείνει στους 75°C.

Το προϊόν που λήφθηκε από τον ξηραντήρα εκνέφωσης ήταν 395,7 g σκόνης συμπλοκοποιημένου αμύλου.

Λόγω του μεγάλου μεγέθους της συσκευής ανάδευσης το μίγμα παρέμεινε μέσα στη δεξαμενή για τρεις μέρες και κάθε μέρα ποσότητα μίγματος μεταφερόταν στον ξηραντήρα εκνέφωσης.

4.1.2. Βελτιωτικά Ροής

Για τη βελτίωση της ικανότητας ροής του αμύλου και του συμπλοκοποιημένου αμύλου, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμές με την προσθήκη βελτιωτικών ροής. Αυτά ήταν το Aerosil και το Kollidon.

Η ρευστότητα της σκόνης επηρεάζεται από τις δυνάμεις συνεκτικότητας μεταξύ των σωματιδίων της σκόνης. Όσο πιο λεπτόκοκκη η σκόνη τόσο πιο ισχυρές είναι οι δυνάμεις συνεκτικότητας. Για τον λόγο αυτό, η λεπτόκοκκη σκόνη δεν ρέει τόσο εύκολα όσο η χονδρόκοκκη. Μία μεμβράνη υγρού στην επιφάνεια των σωματιδίων της σκόνης (όπως συμβαίνει σε υγρές σκόνες ή σε εκείνες που περιέχουν λάδι) μπορεί επίσης να συγκρατεί τα σωματίδια μαζί, μέσω της επιφανειακής τάσης. Το Aerosil αποτελείται από λεπτά συσσωματώματα πυριτίου που σχηματίζουν ένα περίβλημα που περιβάλλει τα σωματίδια της σκόνης που προορίζεται για κατεργασία. Η λειτουργία του εδώ είναι να διατηρήσει κάποια απόσταση μεταξύ των μεμονωμένων σωματιδίων σκόνης, διαχωρίζοντάς τα μεταξύ τους και ελαχιστοποιώντας έτσι τις δυνάμεις συνεκτικότητας. Μπορεί επίσης να απορροφήσει οποιοδήποτε φιλμ που μπορεί να υπάρχει. Το Aerosil, το οποίο είναι κολλοειδές διοξείδιο του πυριτίου, βοηθά στην βελτίωση της ροής της σκόνης που απαιτείται από τα σύγχρονα πιεστήρια δισκίων (tappingmachine) υψηλής ταχύτητας. Μπορεί να βοηθήσει επίσης τη φαρμακευτική βιομηχανία με τις σημερινές προκλήσεις, όπως στη βελτίωση της διάλυσης δραστικών φαρμακευτικών ουσιών χαμηλής διαλυτότητας. (Koehler, 2016)

Μεταξύ των συνθετικών εκδόχων, η πολυβινυλοπυρολιδόνη, η οποία διατίθεται στο εμπόριο με την επωνυμία Kollidon, λόγω της διαλυτότητας της στο νερό και σε πολλούς οργανικούς διαλύτες, με σύμμαχό της τις δυνάμεις συνεκτικότητας και την ικανότητά της να σχηματίζει σύμπλοκα, είναι μια από τις πιο σημαντικές ουσίες στις φαρμακευτικές βιομηχανίες. Το Kollidon παράγεται με ξήρανση με ψεκασμό. (Bühler, 2008)

Δημιουργήθηκαν κάποια δείγματα με άμυλο και τα βελτιωτικά ροής. Αυτά είναι:

- 10% Kollidon, 0.5% Aerosil και 89,5% άμυλο (K+A)
- 0.5% Aerosil και 99,5% άμυλο (A)
- 10% Kollidon και 90% άμυλο (K)
- 100% άμυλο (AM)

Κάθε συνταγή παρασκευάζεται τρεις φορές.

Το ίδιο γίνεται και με το δείγμα συμπλόκων που δημιουργήθηκε από τη χρήση του ξηραντήρα εκνέφωσης:

- 10% Kollidon, 0.5% Aerosil και 89,5% σύμπλοκο αμύλου (ΣΑΚ)
- 0.5% Aerosil και 99,5% σύμπλοκο αμύλου (ΣΑ)
- 10% Kollidon και 90% σύμπλοκο αμύλου (ΣΚ)
- 100% σύμπλοκο αμύλου (Σ2)

Η συνταγή παρασκευάζεται δυο φορές (λόγω έλλειψης Kollidon).

Τέλος, η ανάμιξη κάθε δείγματος με τα βελτιωτικά ροής έγινε σε βάζο που τοποθετήθηκε στον περιστροφικό αποστειρωτήρα για 10 λεπτά.

Σε όλα τα δείγματα που προαναφέρθηκαν πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω προσδιορισμοί. Χρησιμοποιήθηκε και προζελατινοποιημένο άμυλο ώστε να γίνει σύγκριση των σωματιδίων της σκόνης μεταξύ αυτού και του αμύλου.

4.2. Μέθοδοι ανάλυσης

4.2.1. Δείκτης συμπίεστικότητας και Αναλογία Hausner

Μελετήθηκε η επίδραση ξήρανσης στην ικανότητα ροής του αμύλου και του συμπλοκοποιημένου αμύλου με τη χρήση συσκευής tappingmachine. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε πριν και μετά τη ξήρανση των δειγμάτων. Η ξήρανση έγινε σε φούρνο με δίσκους σε θερμοκρασία 90°C και για μια εβδομάδα. Χρησιμοποιήθηκε ένας προζυγισμένος ογκομετρικός κύλινδρος 100ml και τοποθετήθηκε δείγμα 80ml. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε στη συσκευή πάκτωσης και αυτή τέθηκε σε λειτουργία. Πραγματοποιήθηκαν 30 σετ των 10 χτύπων και μετρήθηκε ο όγκος του δείγματος μετά τα χτυπήματα.

4.2.2. Τεστ ροής

Μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης στην ικανότητα ροής του αμύλου και του συμπλοκοποιημένου αμύλου. Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω. Μετά το τέλος της ανάμιξης του αμύλου και συμπλοκοποιημένου αμύλου με τα βελτιωτικά ροής πραγματοποιήθηκε τεστ ροής πριν και μετά τη ξήρανση των δειγμάτων.

Μέσα σε ένα στεγνό χωνί, του οποίου ο πάτος φράχθηκε από τα κατάλληλα μέσα, εισήχθη χωρίς συμπίεση το δείγμα 100g. Απελευθερώθηκε ο πάτος ανοίγοντας

το χωνί και μετρήθηκε ο χρόνος που χρειάζεται όλο το δείγμα για να περάσει μέσα από το χωνί. Η διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές.

4.2.3. Γωνία εναπόθεσης

Μελετήθηκε η επίδραση της ξήρανσης στις ικανότητες ροής αμύλου και του συμπλοκοποιημένου αμύλου. Για το λόγο αυτό βρέθηκε η γωνία εναπόθεσης πριν και μετά την ξήρανση των δειγμάτων.

Η διαδικασία για τον υπολογισμό της γωνίας εναπόθεσης ήταν η εξής: Από το χωνί που προαναφέρθηκε αφέθηκε το δείγμα να ρεύσει. Το ύψος του χωνιού διατηρήθηκε περίπου στα 2-4 εκ. από την κορυφή της στοίβας σκόνης, ώστε να μειωθεί η σύγκρουση της σκόνης που ρέει με την κορυφή του κώνου. Από τη στοίβα σκόνης που δημιουργήθηκε μετρήθηκε το ύψος και η βάση.

4.2.4. Συσσωμάτωση με ύγρανση

Σκοπός του πειράματος αυτού ήταν να αυξηθεί το μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης των δειγμάτων διά της ύγρανσης, ώστε να διευκολυνθεί η ροή της σκόνης μέσα από το χωνί. Η ροή της σκόνης εμποδίζεται λόγω του μικρού μεγέθους των σωματιδίων, καθώς αυτά «κολλάνε» μεταξύ τους στη προσπάθειά τους να διαφύγουν από το στόμιο του χωνιού, δημιουργώντας έτσι ένα συσσωμάτωμα, το οποίο φράζει την έξοδο του χωνιού. Για την εξάλειψη του συγκεκριμένου προβλήματος πραγματοποιήθηκε ύγρανση της σκόνης, προκειμένου να «κολλήσουν» οι κόκκοι μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι άμορφα συσσωμάτωμα μεγαλύτερου μεγέθους. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να μειωθούν τα κενά, τα οποία εμφανίζονται μεταξύ των κόκκων της σκόνης και να διευκολυνθεί η ροή. Έτσι, ποσότητα αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου υγράθηκαν με 0,1,2 και 4 ψεκασμούς και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με δίσκους για μια εβδομάδα. Μετά το πέρας της εβδομάδας τα αποξηραμένα δείγματα τοποθετήθηκαν στο σφαιρόμυλο για να θρυμματιστούν χρησιμοποιώντας 10 μπίλιες, στις 5,5 στροφές το λεπτό για 10 λεπτά. Τα δείγματα αυτά τοποθετήθηκαν στην είσοδο της συσκευής ανάλυσης σωματιδίων (Mastesizer) και μετρήθηκε το μέγεθος των σωματιδίων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία και για την σκόνη συμπλοκοποιημένου αμύλου.

Μετρήθηκαν η ομοιομορφία και η μέση διάμετρος των σωματιδίων του αμύλου, του προζελατινοποιημένου αμύλου και του συμπλοκοποιημένου αμύλου.

Το προζελατινοποιημένο άμυλο επεξεργάστηκε ως εξής: Τρία δείγματα από το καθένα τοποθετήθηκαν στην κατάλληλη συσκευή (πυραντήριο) του βιομηχανικού εργαστηρίου, προσθέτοντας δύο δοχεία με νερό. Κατόπιν η συσκευή τέθηκε σε λειτουργία, ενεργοποιώντας τον ανεμιστήρα και προσαρμόζοντας τη θερμοκρασία σε θερμοκρασία δωματίου (22°C). Η εξάτμιση του νερού που πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια, βοήθησε στην απόκτηση της κατάλληλης υγρασίας των δειγμάτων, με σκοπό την συγκόλληση των σωματιδίων μεταξύ των, με αποτέλεσμα την αύξηση μεγέθους των σωματιδίων.

4.3. Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab 18. Όλοι οι έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν με βάση τη στατιστική σημαντικότητα 0,05. Η κανονικότητα μετρήθηκε με το Normalitytest και έγιναν οι απαραίτητοι μετασχηματισμοί μέσω του μετασχηματισμού Box-Cox στα δείγματα που δεν είχαν κανονική κατανομή. Η ομοιογένεια πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο των διακυμάνσεων (F-Test).

- Έλεγχος Dunnett

Αυτός ο έλεγχος αποτελεί ειδικό έλεγχο σύγκρισης μέσων όρων κατά ζεύγη, αφού δεν συγκρίνει όλους τους μέσους όρους μεταξύ τους και πραγματοποιείται όταν η ANOVA βγάλει σημαντικό αποτέλεσμα ($P \leq 0,05$) με σκοπό να εντοπιστούν οι διαφορές ανάμεσα στους εξεταζόμενους μέσους όρους. Χρησιμοποιεί ένα επίπεδο του εξεταζόμενου παράγοντα σαν μάρτυρα (control) και συγκρίνει όλους τους μέσους όρους με τον μέσο όρο του μάρτυρα μόνο.

Επιλέγεται αυτός ο έλεγχος ώστε να δειχθεί η διαφορά ανάμεσα στα δείγματα με διάφορα βελτιωτικά και τα δείγματα όπως είναι χωρίς βελτιωτικά.

- Έλεγχος HsuMCB

Είναι και αυτός ένας ειδικός έλεγχος, αφού δεν εκτελεί όλες τις δυνατές συγκρίσεις μεταξύ των μέσων όρων και πραγματοποιείται όταν η ANOVA βγάλει σημαντικό αποτέλεσμα ($P \leq 0,05$) με σκοπό να εντοπιστούν οι διαφορές ανάμεσα

στους εξεταζόμενους μέσους όρους. Οι έλεγχοι που κάνει είναι μεταξύ όλων των μέσων όρων έναντι του καλύτερου από τους υπόλοιπους. Η έννοια «καλύτερος» είναι δυνατό να σημαίνει μεγαλύτερος ή μικρότερος.

Επιλέγεται αυτός ο έλεγχος ώστε να δειχθεί ποιο από τα διαφορετικά δείγματα έχει τον καλύτερο μέσο όρο.

- Έλεγχος της υπόθεσης σύγκρισης δύο εξαρτημένων δειγμάτων (Paired t-test).

Αυτός ο έλεγχος εφαρμόζεται όταν κάθε παρατήρηση στο πρώτο δείγμα σχετίζεται με μια αντίστοιχη παρατήρηση στο δεύτερο δείγμα με κάποιο τρόπο.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων:

Μηδενική υπόθεση : όλοι οι μέσοι όροι είναι ίδιοι

Εναλλακτική υπόθεση : όλοι οι μέσοι όροι δεν είναι ίδιοι

Αν $P \geq 0,005$ ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλα τα δείγματα είναι ίσα μεταξύ τους.

Αν $P \leq 0,005$ ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλα τα δείγματα δεν είναι ίσα μεταξύ τους.

- Επίδραση στα χαρακτηριστικά ροής

Εφαρμόστηκε ο έλεγχος της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (oneway) (ANOVA) για τη σύγκριση των μέσων όρων του δείκτη συμπιεστότητας και της αναλογίας Hausner των δειγμάτων σκέτου αμύλου και με βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon) πριν και μετά τη ξήρανση. Ο ίδιο έλεγχος έγινε για τη σύγκριση των μέσων όρων της αναλογίας Hausner των δειγμάτων σκέτου αμύλου και με βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon) πριν και μετά τη ξήρανση. Επαναλήφθηκε ο ίδιος έλεγχος και για το συμπλοκοποιημένο άμυλο με και χωρίς βελτιωτικά ροής.

- Επίδραση στην ικανότητα ροής

Εφαρμόστηκε ο έλεγχος της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (oneway) (ANOVA) για τη σύγκριση των μέσων όρων του χρόνου που κάνουν τα δείγματα σκέτου αμύλου και με βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon) να ρεύσουν . Το ίδιο επαναλήφθηκε και για το συμπλοκοποιημένο άμυλο με και χωρίς βελτιωτικά ροής.

- Επίδραση στις ιδιότητες της ροής

Εφαρμόστηκε ο έλεγχος της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (oneway) (ANOVA) για τη σύγκριση των μέσων όρων της γωνία εναπόθεσης των δειγμάτων σκέτου αμύλου και με βελτιωτικά ροής (Aerosil, Kollidon) πριν και μετά τη ξήρανση. Το ίδιο επαναλήφθηκε και για το συμπλοκοποιημένο άμυλο με και χωρίς βελτιωτικά ροής.

- Επίδραση στο μέγεθος των σωματιδίων

Εφαρμόστηκε ο έλεγχος της ανάλυσης διακύμανσης ενός παράγοντα (oneway) (ANOVA) για τη σύγκριση των μέσων όρων των δειγμάτων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου που έχει διαβραχεί 0, 1, 2, 4 φορές.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Τεστροής

5.1.1. Άμυλο

5.1.1.1. Πριν την ξήρανση

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει αναλυτικά τους χρόνους των δειγμάτων που χρειάστηκαν για να περάσουν διαμέσου του χωνιού.

Πίνακας 4: Ο χρόνος που έκαναν τα δείγματα αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής να τρέξουν μέσα από το χωνί πριν την ξήρανση

ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ				
	A	K	A+K	AM
Χρόνος (sec)	4,35	Δεν έτρεξε	4,11	Δεν έτρεξε
	4,51	Δεν έτρεξε	4,73	Δεν έτρεξε
	3,76	Δεν έτρεξε	5,02	Δεν έτρεξε
Μέσος όρος	4,206	-	4,62	-
Τυπική απόκλιση	0,395	-	0,464	-

Σημείωση : Δεν έτρεξε όλη η ποσότητα σκόνης των δειγμάτων του αμύλου (AM) και αμύλου με Kollidon (K). Από το άμυλο με Aerosli (A) έτρεξε όλο ενώ από το άμυλο με Aerosil + Kollidon (A+K) το δείγμα έτρεξε όλο αλλά πιο αργά σε σχέση με το δείγμα που περιέχει Aerosil. Αυτό είναι το πρώτο στοιχείο το οποίο υποδηλώνει φτωχότερη ροή σύμφωνα με τον κλίμακα ροής της σκόνης (πίνακας 2) από τα υπόλοιπα δείγματα και εξετάζεται αναλυτικότερα με τις επόμενες μεθόδους.

Η στατιστική σύγκριση των αποτελεσμάτων για το τεστ ροής εμφανίζεται στο παράρτημα I(σχήμα 19):

Στο IntervalPlot που πραγματοποιήθηκε έγινε σύγκριση του αμύλου χωρίς βελτιωτικά ροής με το άμυλο με βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση φαίνονται τα εξής:

$P \leq 0,05$. Όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους. Άρα υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων.

5.1.1.2. Μετά την ξήρανση

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έδωσαν τα δείγματα αμύλου μετά την ξήρανση.

Πίνακας 5: Ο χρόνος που έκαναν τα δείγματα αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής να τρέξουν μέσα από το χωνί μετά την ξήρανση

ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ				
	A	K	A+K	AM
Χρόνος (sec)	5,33	Δεν έτρεξε	5,22	Δεν έτρεξε
	5,30	Δεν έτρεξε	6,31	Δεν έτρεξε
	5,32	Δεν έτρεξε	5,52	Δεν έτρεξε
Μέσος όρος	5,316	-	5,683	-
Τυπική απόκλιση	0,015	-	0,563	-

Στο IntervalPlot που πραγματοποιήθηκε (βλ. Παράρτημα I, σχήμα 20) έγινε σύγκριση του αμύλου χωρίς βελτιωτικά ροής με το άμυλο με βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση φαίνονται τα εξής:

$P \leq 0,05$. Όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους.

Ζητείται να αποδειχθεί αν η ξήρανση επηρεάζει τα δείγματα αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής σχετικά με το τεστ ροής:

- Άμυλο με Aerosil

$P = 0,041 \leq 0,05$ άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν είναι ίσα μεταξύ τους.

- Άμυλο με Kollidon

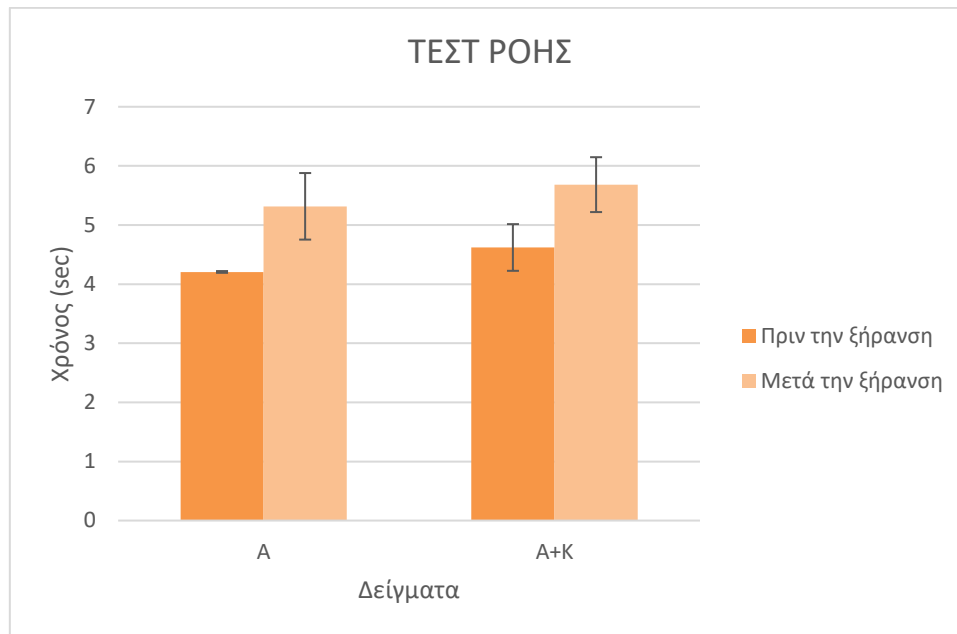
Δεν έτρεξε

- Άμυλο με Aerosil +Kollidon

$P = 0,070 \geq 0,05$ άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα μεταξύ τους.

- Άμυλο χωρίς βελτιωτικά

Δεν έτρεξε



Σχήμα 8: Χρόνος που χρειάστηκε για να τρέξει το άμυλο πριν και μετά την ξήρανση μέσα από το χωνί.

Από τους πίνακες και το διάγραμμα φαίνεται ότι μετά την ξήρανση ο χρόνος ροής αυξάνεται καθώς για τα δείγματα που έτρεξαν εξ' ολοκλήρου οι χρόνοι ροής διαφέρουν. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι λογικά, καθώς όπως αποδεικνύεται και στη συνέχεια, η μείωση της υγρασίας μειώνει την αναλογία Hausner και τον δείκτη συμπιεστότητας και άρα αποφέρει καλύτερη ικανότητα ροής στις σκόνη αμύλου. Από την στατιστική ανάλυση των δειγμάτων πριν και μετά την ξήρανση αποδεικνύεται ότι η τιμή P για το άμυλο με Aerosil είναι ίση με 0,041, άρα μικρότερη από 0,05 και έτσι ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν έχουν ίσους μέσους όρους. Αυτό μπορεί να αποδοθεί ίσως σε κάποιο στατιστικό λάθος, καθώς δεν έτρεξαν όλα τα δείγματα, ούτε πριν ούτε μετά την ξήρανση. Για το δείγμα αμύλου με βελτιωτικά ροής Aerosil και Kollidon η τιμή του P ισούται με $0,07 > 0,05$ και άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι. Η στατιστική ανάλυση έγινε μόνο στα δείγματα που έτρεξαν, δηλαδή σε μόνο 4 από τα 8 δείγματα. Τα υπόλοιπα δείγματα που δεν έτρεξαν, δεν παρουσίασαν καμία διαφορά μετά την ξήρανση.

Τα δείγματα παρουσιάζουν φτωχή ροή και δυσκολία στο να περάσουν μέσα από το χωνί. Αυτό το επιβεβαιώνουν τόσο οι χρόνοι ροής που φαίνεται στον πίνακα

5, όσο και οι ποσότητες της σκόνης που λαμβάνονται. Σε πολλά δείγματα δεν έχει ληφθεί καθόλου ποσότητα (δηλ. το δείγμα δεν έτρεξε).

Το δείγμα με το Aerosil, φαίνεται να έχει μικρότερους χρόνους, άρα διαπερνά το χωνί πιο γρήγορα.

5.1.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο

5.1.2.1. Πριν την ξήρανση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο χρόνος που έκαναν τα δείγματα συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής να τρέξουν μέσα από το χωνί πριν την ξήρανση.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα του τεστ ροής πριν την ξήρανση.

ΠΡΙΝ ΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ				
	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ2
Χρόνος (sec)	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε
	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε

5.1.2.2. Μετά την ξήρανση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο χρόνος που έκαναν τα δείγματα συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής να τρέξουν μέσα από το χωνί μετά την ξήρανση.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα του τεστ ροής μετά την ξήρανση.

ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ				
	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ2
Χρόνος (sec)	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	7,6	Δεν έτρεξε
	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε

Από τους πίνακες διαπιστώνεται ότι τα δείγματα δεν έτρεξαν ούτε πριν την ξήρανση, ούτε μετά την ξήρανση. Άρα σε αυτή την περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι η

ξήρανση επηρεάζει την ικανότητα ροής της σκόνης αμύλου. Τα δείγματα δε ανταποκρίνονται στις ιδιότητες ροής ούτε πριν ούτε μετά την ξήρανση.

5.2. Γωνία εναπόθεσης

5.2.1. Αμυλο

5.2.1.1. Πριν την ξήρανση

Στον πίνακα 8 δίνονται οι διαστάσεις της σωρού της σκόνης που σχηματίστηκε πέφτοντας από το χωνί και το μήκος της βάσης που σχηματίστηκε, επί τρεις επαναλήψεις, πριν και μετά την ξήρανση.

Πίνακας 8: Μετρήσεις της βάσης και του ύψους της στοιβάς των δειγμάτων αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής πριν τη ξήρανση

Δείγματα	A	K	A+K	AM
Ύψος (cm)	1,5	2,5	1,8	2,5
Μήκος(cm)	7	7,3	7	6,3
Ύψος (cm)	1,8	2,5	1,5	3,6
Μήκος(cm)	7,9	6,5	6,3	7
Ύψος (cm)	1,6	2,5	2	2,8
Μήκος(cm)	7,2	6	7	5,5

Από τον τύπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκε η γωνία εναπόθεσης. Έτσι προέκυψαν αποτελέσματα του πίνακα 9:

Πίνακας 9: Αποτελέσματα της εξίσωσης για τη γωνία εναπόθεσης δειγμάτων αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής

	A	K	A+K	AM
	24,2	34,2	27	38,3
	24,7	37,2	25,2	45,6
	23,7	39,7	29,6	45,3
Μέσος Όρος	24,2	37,1	27,3	43,1
Τυπική Απόκλιση	0,5	2,8	2,2	4,13

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 των ιδιοτήτων ροής για την γωνία εναπόθεσης βγαίνει το εξής συμπέρασμα για τα δείγματα αμύλου πριν την ξήρανση:

Πίνακας 10: Ικανότητα ροής του αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής πριν τη ξήρανση

Δείγματα	Μέσος όρος Γωνίας γωνία εναπόθεσης	Ικανότητα ροής
A	24,2	Άριστη
K	37	Ικανοποιητική
A+K	27,2	Άριστη
AM	43,1	Μέτρια

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα φαίνεται ό,τι την καλύτερη ικανότητα ροής έχουν τα δείγματα στα οποία προστέθηκαν βελτιωτικά ροής. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα στο οποίο προστέθηκε Aerosil φαίνεται να συμπεριφέρεται καλύτερα από αυτό που προστέθηκε Kollidon καθώς και τα δείγματα με τον συνδυασμό βελτιωτικών έχουν εξίσου καλά αποτελέσματα. Αντιθέτως το σκέτο άμυλο έχει μέτρια ροή.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 21 και 22).

Στο IntervalPlot που δημιουργήθηκε για την σύγκριση του αμύλου με βελτιωτικά ροής σε σχέση με το άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση έδειξε ότι οι μέσοι όροι των δειγμάτων δεν επικαλύπτονται, άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και οι μέσοι όροι δεν είναι ίσοι. $P \leq 0,05$.

Όταν από την ανάλυση της ANOVA προκύπτει ότι τα δείγματα δεν είναι ίσα μεταξύ τους μπορούν συγκριθούν με το δείγμα αναφοράς δηλαδή το σκέτο άμυλο. Η ανάλυση με τη μέθοδο του Dunnett δείχνει ότι μόνο το άμυλο με βελτιωτικά ροής βρίσκεται μέσα στα όρια και δεν διαφέρει στατιστικά με το σκέτο άμυλο. Τα υπόλοιπα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

5.2.1.2. Μετά την ξήρανση

Στην συνέχεια έγιναν μετρήσεις για τα δείγματα μετά την ξήρανση όπως φαίνονται στον πίνακα 12 όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα μετά τη διαδικασία ξήρανσης.

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

Πίνακας 11: Μετρήσεις βάσης και ύψους των δειγμάτων αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής μετά τη ξήρανση

Δείγματα	A	K	A+K	AM
Ύψος (cm)	10,5	9,5	12	7
Μήκος(cm)	2	2,5	1,5	0,3
Ύψος (cm)	12	4,5	11	9
Μήκος(cm)	1,5	0,3	2,1	0,4
Ύψος (cm)	12	13	14,5	12,5
Μήκος(cm)	1,9	2,5	1,8	1,7

Χρησιμοποιώντας τον τύπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 12: Αποτελέσματα της εξίσωσης για τη γωνία εναπόθεσης για το άμυλο με και χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση

	A	K	A+K	AM
	84,6	82,4	86,4	78
	86	88,1	84,6	88,8
	85,5	84,5	87,7	86,1
Μέσος όρος	85,36	85	86,23	84,3
Τυπική απόκλιση	0,70	2,88	1,55	5,62

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 των ιδιοτήτων ροής για την γωνία εναπόθεσης βγαίνει το εξής συμπέρασμα για τα δείγματα αμύλου μετά την ξήρανση:

Πίνακας 13: Ικανότητα ροής του αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση

Δείγματα	Μέσος Όρος γωνίας εναπόθεσης	Ικανότητα ροής
A	85,3	Πάρα πολύ φτωχή
K	84,9	Πάρα πολύ φτωχή
A+K	86,2	Πάρα πολύ φτωχή
AM	84,3	Πάρα πολύ φτωχή

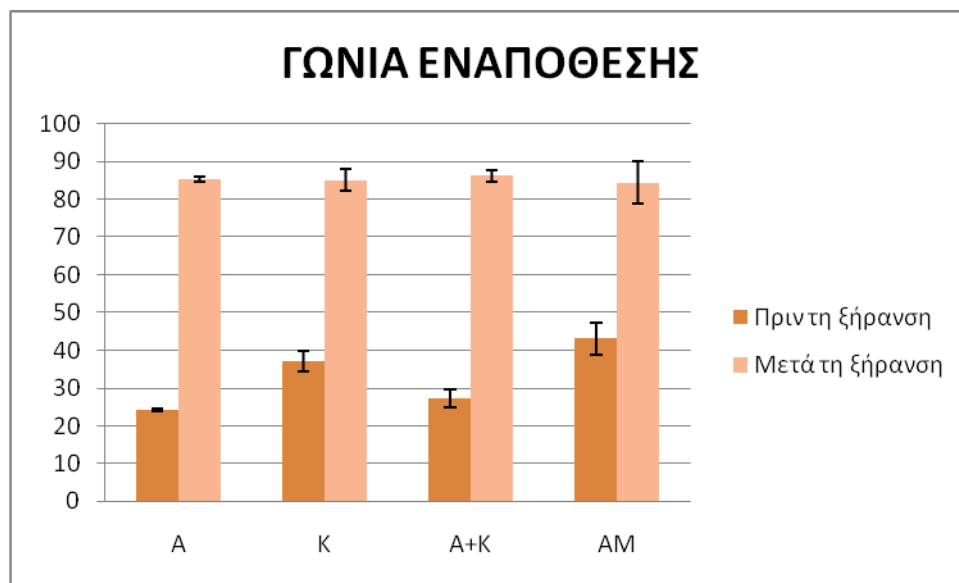
Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 23 και 24)

Συγκρίνεται άμυλο με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά μετά την ξήρανση. Στο IntervalPlot που δημιουργήθηκε για την σύγκριση του αμύλου με

βελτιωτικά ροής σε σχέση με το άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση έδειξε ότι όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι. $P \geq 0,05$

Από τη μέθοδο του Dunnett φαίνεται ότι όλα τα δείγματα δεν διαφέρουν με το σκέτο άμυλο καθώς όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα δείγματα αμύλου σε σχέση με την γωνία εναπόθεσης πριν και μετά την ξήρανση.



Σχήμα 9: Γωνία εναπόθεσης σκέτου αμύλου (AM), αμύλου με Aerosil (A), αμύλου με Kollidon (K), αμύλου με Aerosil και Kollidon (A+K) πριν και μετά τη ξήρανση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όλα τα δείγματα έχουν πάρα πολύ φτωχή ροή μετά την ξήρανση. Τα δείγματα πριν και μετά την ξήρανση αναλύθηκαν στατιστικά και η τιμή $P < 0,05$. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και οι μέσοι όροι δεν είναι ίσοι. Αυτό δεν είναι λογικό γιατί η ξήρανση δεν θα έπρεπε να επηρεάζει την ικανότητα ροής. Η απώλεια υγρασίας είναι επιθυμητή καθώς έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τον δείκτη συμπιεστότητας και την αναλογία Hausner και άρα δίνει καλύτερα αποτελέσματα στις ιδιότητες ροής. (Hayetal., 2016).

Στατιστικά αποτελέσματα για τα δείγματα αμύλου ώστε να αποδειχθεί αν η ξήρανση τα επηρεάζει :

- Άμυλο με Aerosli

$P=0,007 < 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν είναι ίσα.

- Άμυλο με Kollidon

$P=0,000 < 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosli + Kollidon

$P=0,001 < 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν είναι ίσα.

- Σκέτο άμυλο

$P=0,001 < 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα δεν είναι ίσα.

5.2.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο

5.2.2.1. Πριν την ξήρανση

Όπου (Σ1) δηλώνει τα σύμπλοκα αμυλόζης-λιπαρών οξέων χωρίς βελτιωτικό ροής με υψηλή υγρασία

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές του συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλα τα δείγματα δεν έτρεξε όλη η ποσότητα του δείγματος μέσα από το χωνί, και σε μερικά δείγματα δεν έτρεξε καθόλου ποσότητα. Τα δείγματα που δεν έτρεξαν από το χωνί είναι το συμπλοκοποιημένο άμυλο με υψηλή υγρασία στην πρώτη και τρίτη επανάληψη και το σκέτο συμπλοκοποιημένο άμυλο. Στα υπόλοιπα δείγματα δεν έτρεξε όλη η ποσότητα της σκόνης. Ένα μέρος της σκόνης κόλλησε στο χωνί. Για την ποσότητα που έτρεξε η ικανότητα ροής φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 14: Μετρήσεις βάσης και ύψους των δειγμάτων συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής πριν τη ξήρανση

	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ1	Σ2
Ύψος	8	2,3	16	Δεν έτρεξε	1,8
Μήκος	0,2	0,1	0,5	Δεν έτρεξε	4,5
Ύψος	8,5	2	16	4	2,6
Μήκος	0,2	0,1	0,2	2	3,4
Ύψος				Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε
Μήκος				Δεν έτρεξε	Δεν έτρεξε

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

Από την εξίσωση που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε τα εξής αποτελέσματα

Πίνακας 15: Αποτελέσματα της εξίσωσης για τη γωνία εναπόθεσης πριν τη ξήρανση

	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ1	Σ2
	89,2	88,8	89,1	-	38,7
	89,3	88,6	89,6	75,9	56,3
				-	-
Μέσος όρος	89,25	88,7	89,35	75,9	47,5
Τυπική απόκλιση	0,07	0,14	0,35	43,82	28,80

Πίνακας 16: Ικανότητα ροής συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση

Δείγματα	Μέσος Όρος γωνίαςεναπόθεσης	Ικανότητα ροής
ΣΑ	89,25	Πάρα πολύ φτωχή
ΣΚ	88,7	Πάρα πολύ φτωχή
ΣΑΚ	85,35	Πάρα πολύ φτωχή
Σ1	75,9	Πάρα πολύ φτωχή
Σ2	47,5	Φτωχή

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα όλα τα δείγματα έχουν πάρα πολύ φτωχή ροή πριν την ξήρανση εκτός από το συμπλοκοποιημένο άμυλο που έχει φτωχή.

Στον πίνακα 16 τα δείγματα ΣΑ, ΣΚ ΣΑΚ μετρήθηκαν δύο φορές αντί για 3 έλλειψης ποσότητας Kollidon. Από τα δείγματα που μετρήθηκαν 3 φορές , έδωσαν αποτελέσματα μόνο οι 2 , έτσι τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν ανισοροπίες.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 25 και 26). Στο IntervalPlot που δημιουργήθηκε για την σύγκριση του συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικό ροής πριν την ξήρανση έδειξε ότι όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Τα δείγματα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ($P \geq 0,05$).

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

Αυτό αποδεικνύεται και από τη μέθοδο του Dunnett, όπου όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια. Κανένα δείγμα δεν διαφέρει σημαντικά από το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά.

5.2.2.2. Μετά την ξήρανση

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έτρεξε όλο το δείγμα μέσα από το χωνί. Ένα μέρος της σκόνης κόλλησε στο χωνί. Για την ποσότητα που έτρεξε η ιδιότητα ροής φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 17: Μετρήσεις βάσης και ύψους των δειγμάτων συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής μετά τη ξήρανση

	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ1	Σ2
Ύψος(cm):	18,1	9,3	17,3	-	-
Μήκος(cm):	0,7	0,3	2,5	-	-
Ύψος(cm):	17,6	8,4	15,5	13	16
Μήκος(cm):	0,5	0,2	1,3	0,5	2,5
Ύψος(cm):				-	16
Μήκος(cm):				-	2,5

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 18: Αποτελέσματα της εξίσωσης για τη γωνία εναπόθεσης μετά τη ξήρανση

	ΣΑ	ΣΚ	ΣΑΚ	Σ1	Σ2
	88,9	89,1	85,8	-	-
	89,2	89,3	87,6	88,9	85,5
				-	85,5
Μέσος όρος	89,05	89,2	86,7	88,9	85,5
Τυπική απόκλιση	0,21	0,14	1,27	51,32	49,36

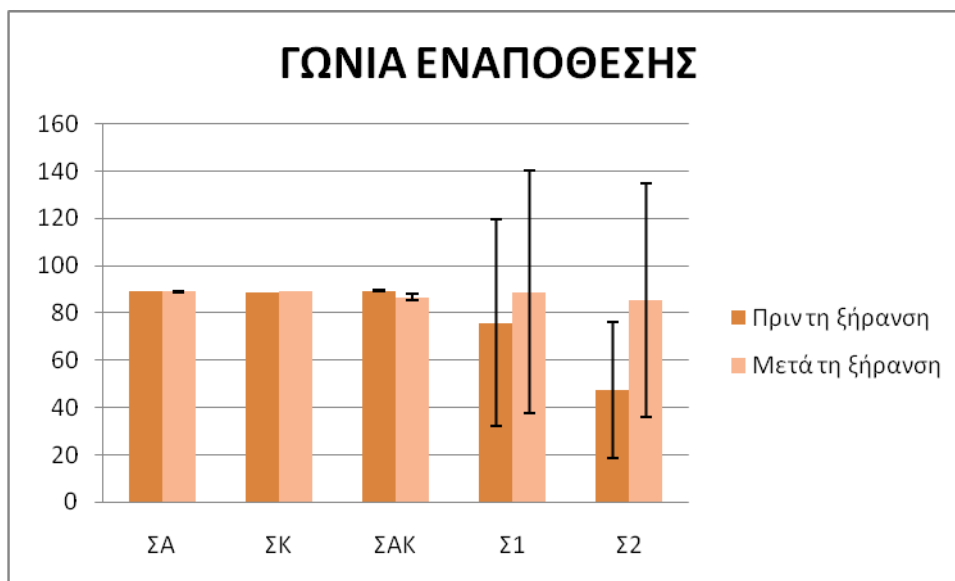
Πίνακας 19: Ικανότητα ροής συμπλοκοποιημένου αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση

Δείγματα	Μέσος Όρος γωνίας εναπόθεσης	Ικανότητα ροής
ΣΑ	89,1	Πάρα πολύ φτωχή
ΣΚ	89,3	Πάρα πολύ φτωχή

ΣΑΚ	86,7	Πάρα πολύ φτωχή
Σ1	88,9	Πάρα πολύ φτωχή
Σ2	85,5	Πάρα πολύ φτωχή
Τυπική απόκλιση	1,70	

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα Ι (σχήματα 27 και 28). Στο IntervalPlotπου δημιουργήθηκε για την σύγκριση του συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικό ροής μετά την ξήρανση έδειξε ότι $P \geq 0,05$ επομένως, όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους.

Αυτό αποδεικνύεται και από τη μέθοδο του Dunnett, όπου όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια. Κανένα δείγμα δεν διαφέρει σημαντικά από το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά.



Σχήμα 10: Γωνία εναπόθεσης σκέτου συμπλοκοποιημένου αμύλου (Σ2), σκέτου συμπλοκοποιημένου αμύλου με υψηλή υγρασία (Σ1), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil (ΣΑ), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Kollidon (ΣΚ) και συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil και Kollidon (ΣΑΚ) πριν και μετά τη ξήρανση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων και των διαγραμμάτων όλα τα δείγματα έχουν πάρα πολύ φτωχή ροή τόσο πριν την ξήρανση όσο και μετά από την ξήρανση. Σε αυτή την περίπτωση η ξήρανση δεν επηρεάζει τα δείγματα καθώς και πριν από αυτήν τα δείγματα είχαν πολύ φτωχή ιδιότητα ροής. Τα αποτελέσματα των δειγμάτων πριν και μετά την ξήρανση αναλύθηκαν στατιστικά και η τιμή P είναι μεγαλύτερη από 0,05. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι. Έτσι τα δείγματα δεν παρουσιάζουν στατιστική διαφορά πριν και μετά την ξήρανση και συνεπώς η ξήρανση δεν επηρεάζει αρνητικά την ικανότητα ροής της σκόνης αμύλου.

Στατιστικά αποτελέσματα για τα δείγματα ώστε να αποδειχθεί αν η ξήρανση τα επηρεάζει :

- Σύμπλοκο με Aerosil

$P=0,295>0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με Kollidon

$P=0,242>0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με Aerosil και Kollidon

$P=0,153>0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με περισσότερη υγρασία\

$P=0,500>0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σκέτο σύμπλοκο

$P=0,912>0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

5.3. Δείκτης Συμπιεστότητας και αναλογία Hausner

5.3.1. Άμυλο

5.3.1.1. Πριν την ξήρανση

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα του δείκτη συμπιεστότητας και της αναλογίας Hausner:

Πίνακας 20: Δείκτης συμπιεστότητας δειγμάτων αμύλου πριν την ξήρανση (%)

K	A	A+K	AM
---	---	-----	----

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

41,66	18,30	20	40,16
47,32	18,43	17,60	34,42
46,61	16,31	17,98	40,16
Μέσος Όρος			
45,19	17,68	18,53	38,25
Τυπική απόκλιση			
3,080	1,19	1,28	3,31

Πίνακας 21: Αναλογία Hausner των δειγμάτων αμύλου πριν την ξήρανση

K	A	A+K	AM
1,41	1,18	1,15	1,40
1,47	1,18	1,20	1,34
1,46	1,13	1,16	1,40
Μέσος όρος			
1,45	1,17	1,17	1,38
Τυπική απόκλιση			
0,030	0,01	0,027	0,03

Σύμφωνα με τον πίνακα 3 της κλίμακας ροής που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτει :

Πίνακας 22: Ικανότητα ροής του αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής σύμφωνα με τον δείκτη συμπιεστότητας

Δείγματα	Δείκτης συμπιεστότητας %	Ικανότητα ροής
K	45,2	Πολύ πολύ φτωχή
A	17,7	Ικανοποιητική
A+K	18,5	Ικανοποιητική
AM	38,3	Πολύ πολύ φτωχή

Σύμφωνα με τον δείκτη συμπιεστότητας μόνο τα δείγματα που περιέχουν βελτιωτικό ροής Aerosil έχουν ικανοποιητική ροή. Τα υπόλοιπα δείγματα έχουν πολύ πολύ φτωχή ροή.

Πίνακας 23: Σύμφωνα με την αναλογία Hausner και τη κλίμακα ροής φαίνεται η ικανότητα ροής του αμύλου με και χωρίς βελτιωτικά ροής

Δείγματα	Αναλογία Hausner	Ικανότητα ροής
K	1,45	Φτωχή

A	1,18	Καλή
A+K	1,18	Καλή
AM	1,38	Φτωχή

Σύμφωνα με την αναλογία Hausner τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τον δείκτη συμπιεστότητας και τα δείγματα που έχουν καλή ροή είναι αυτά που περιέχουν βελτιωτικό Aresoil. Τα υπόλοιπα δείγματα χαρακτηρίζονται από φτωχή ροή.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 29, 30, 31, 32).

Όσον αφορά τον δείκτη συμπιεστότητας το IntervalPlot που δημιουργήθηκε για την σύγκριση του αμύλου με βελτιωτικά ροής με το άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση, έδειξε $P \leq 0,05$, επομένως, όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους. Αυτό επαληθεύεται και από το Dunnett όπου κανένα από τα δείγματα δεν είναι ίσα με το σκέτο άμυλο, όμως πολύ κοντά στα όρια βρίσκεται το άμυλο με Kollidon. Τα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Για την αναλογία Hausner έγινε πάλι ένα IntervalPlot ώστε να συγκριθεί το άμυλο με βελτιωτικά ροής με το άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση. Η σύγκριση αυτή έδειξε πως $P \leq 0,05$ και επομένως, όλοι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι δεν είναι ίσοι. Ο έλεγχος Dunnett έδειξε πως το δείγμα αμύλου με Kollidon βρίσκεται ακριβώς στα όρια και δεν διαφέρει στατιστικά με το άμυλο. Ενώ τα υπόλοιπα δείγματα διαφέρουν στατιστικά με το άμυλο.

5.3.1.2. Μετά την ξήρανση

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών ροής του αμύλου μετά την ξήρανση σύμφωνα με τον δείκτη συμπιεστότητας και την αναλογία Hausner.

Πίνακας 24: Δείκτης συμπιεστότητας δειγμάτων αμύλου μετά την ξήρανση (%)

A	K	A+K	AM
22,38	35,2	25,37	41,37
24,24	47,36	23,15	41,37

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

25,37	39,83	21,01	36,66
Μέσος Όρος			
24,00	40,79	23,18	39,80
Τυπική απόκλιση			
1,507	6,141	2,17	2,720

Πίνακας 25: Ικανότητα ροής του αμύλου σύμφωνα με τον δείκτη συμπίεστικότητας του αμύλου

Δείγματα	Δείκτης συμπίεστικότητας %	Ικανότητα ροής
K	40,8	Πολύ πολύ φτωχή
A	24	Μέτρια
A+K	23,2	Μέτρια
AM	39,8	Πολύ πολύ φτωχή

Πίνακας 26: Αναλογία Hausner δειγμάτων αμύλου μετά την ξήρανση

A	K	A+K	AM
1,22	1,35	1,25	1,41
1,24	1,47	1,23	1,41
1,25	1,39	1,21	1,36
Μέσος Όρος			
1,24	1,408	1,23	1,398
Τυπική απόκλιση			
0,015	0,061	0,021	0,027

Πίνακας 27: Ικανότητα ροής του αμύλου μετά την ξήρανση σύμφωνα με την αναλογία Hausner

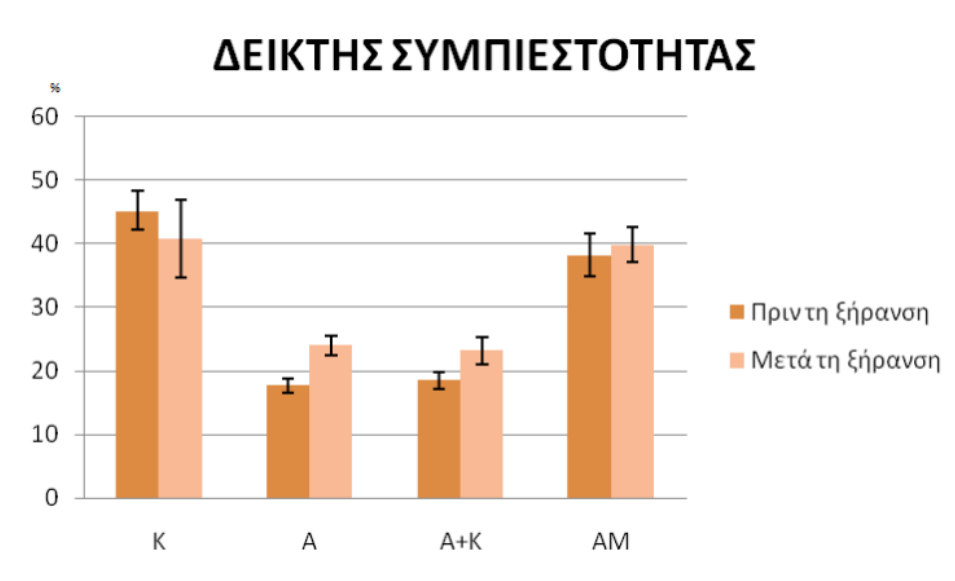
Δείγματα	Αναλογία Hausner	Ικανότητα ροής
K	1,41	Φτωχή
A	1,24	Ικανοποιητική
A+K	1,23	Ικανοποιητική
AM	1,40	Φτωχή

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 33, 34, 35, 36).

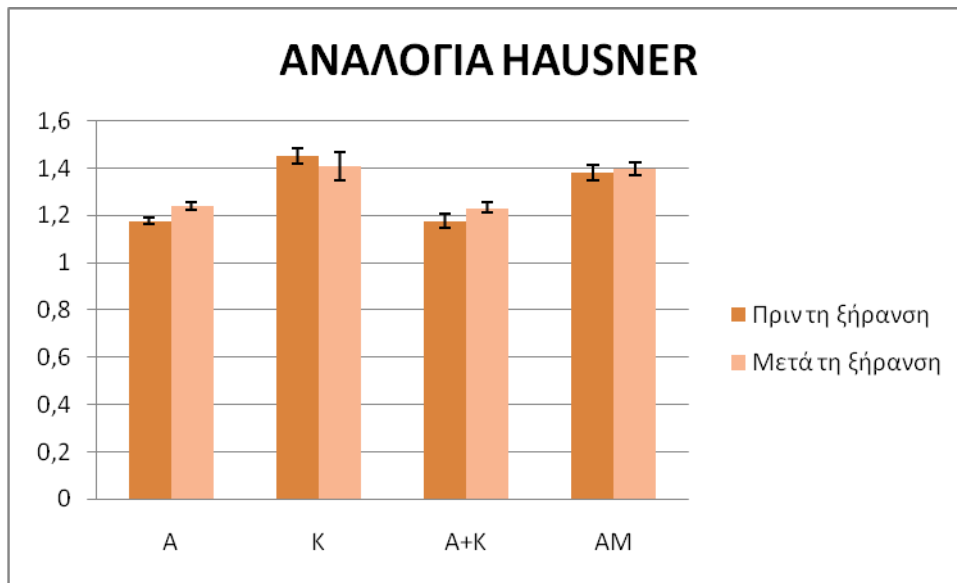
Για τον δείκτη συμπίεστικότητας δημιουργήθηκε ένα IntervalPlot στο οποίο συγκρίνεται το άμυλο με βελτιωτικά ροής με το άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση. Από αυτή την σύγκριση βγήκε το αποτέλεσμα ότι $P \leq 0,05$ και επομένως,

όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Dunnett έδειξε ότι μόνο το άμυλο με Kollidon βρίσκεται μέσα στα όρια που σημαίνει ότι είναι ίσο με το σκέτο άμυλο και επομένως δεν διαφέρει στατιστικά σημαντικά. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά.

Η στατιστική ανάλυση για την αναλογία Hausner, κάνοντας IntervalPlot έδειξε ότι $P \leq 0,05$, επομένως όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και όλοι οι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Dunnett έδειξε ότι μόνο το άμυλο με Kollidon βρίσκεται μέσα στα όρια και είναι ίσο με το σκέτο άμυλο. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Άρα τα δείγματα που περιέχουν το βελτιωτικό Aerosil φαίνεται να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ικανότητες ροής.



Σχήμα 11: Δείκτης συμπίεστικότητας σκέτου αμύλου(AM), αμύλου με Aerosil (A), αμύλου με Kollidon (K) και αμύλου με Aerosil και Kollidon (A+K) πριν και μετά την ξήρανση



Σχήμα 12: Αναλογία Hausner σκέτου αμύλου (AM), αμύλου με Aerosil (A), αμύλου με Kollidon (K) και αμύλου με Aerosil και Kollidon (A+K) πριν και μετά την ξήρανση

Ο δείκτης συμπιεστότητας και η αναλογία Hausner δείχνουν και οι δύο ότι τα αποτελέσματα των δειγμάτων είναι λίγο χειρότερα από πριν την ξήρανση. Η διαφορά των δειγμάτων δεν είναι στατιστικά σημαντική και έτσι η ξήρανση δεν επηρεάζει τα δείγματα. Και πάλι ικανοποιητική – μέτρια ροή έχουν μόνο τα δείγματα με Aerosil. Για τον δείκτη συμπιεστότητας, ο έλεγχος t του μέσου δύο δειγμάτων συσχετισμένων ζευγών έδωσε την τιμή του $P > 0,05$. Για την αναλογία Hausner, ο ίδιος έλεγχος έδωσε την τιμή του $P > 0,05$. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι. Έτσι τα δείγματα δεν παρουσιάζουν στατιστική διαφορά πριν και μετά την ξήρανση και συνεπώς η ξήρανση δεν επηρεάζει την ικανότητα ροής της σκόνης αμύλου.

Στατιστικά αποτελέσματα του δείκτη συμπιεστότητας των δειγμάτων ώστε να αποδειχθεί αν η ξήρανση τα επηρεάζει:

- Άμυλο με Kollidon

$P = 0,186 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosil

$P = 0,050 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosil και Kollidon

$P=0,51 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σκέτα άμυλο

$P=0,065 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

Στατιστικά αποτελέσματα της αναλογίας Hausner ώστε να αποδειχθεί αν η ξήρανση τα επηρεάζει:

- Άμυλο με Kollidon

$P=0,186 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosil

$P=0,093 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosil και Kollidon

$P=0,102 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σκέτα άμυλο

$P=0,0716 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

5.3.2. Συμπλοκοποιημένο άμυλο

5.3.2.1. Πριν την ξήρανση

Μετρήθηκε για το συμπλοκοποιημένο άμυλο ο δείκτης συμπιεστότητας και η αναλογία Hausner πριν την ξήρανση. Στους πίνακες παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 28: Δείκτης συμπιεστότητας (%) συμπλοκοποιημένου αμύλου

Σ2	ΣΑΚ	ΣΚ	ΣΑ
50	64,81	63	53,70
62,5	42,24	44,64	40,17
Μέσος Όρος			
56,25	53,52	53,82	46,94
Τυπική απόκλιση			
8,83	15,96	12,98	9,56

Πίνακας 29: Αναλογία Hausner συμπλοκοποιημένου αμύλου

Σ2	ΣΑΚ	ΣΑ	ΣΚ
1,5	1,648	1,63	1,537

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

1,625	1,422	1,446	1,401
Μέσος Όρος			
1,561	1,535	1,538	1,469
Τυπική απόκλιση			
0,08838	0,159	0,129	0,095

Σύμφωνα με την κλίμακα ροής που φαίνεται στον πίνακα 3, που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, εκτιμήθηκε η ικανότητα της ροής του αμύλου τόσο με βάση τον δείκτη συμπιεστότητας όσο και με την αναλογία Hausner.

Πίνακας 30: Βάση του δείκτη συμπιεστότητας % φαίνεται ο χαρακτήρας ροής του συμπλοκοποιημένου αμύλου

Δείγματα	Δείκτης συμπιεστότητας %	Ιδιότητες ροής
Σ2	56,3	Πολύ πολύ φτωχός
ΣΑΚ	53,5	Πολύ πολύ φτωχός
ΣΑ	53,8	Πολύ πολύ φτωχός
ΣΚ	46,9	Πολύ πολύ φτωχός
Τυπική Απόκλιση	4,01	

Πίνακας 31: Βάση της αναλογίας Hausner φαίνεται η ικανότητα ροής του συμπλοκοποιημένου αμύλου

Δείγματα	Αναλογία Hausner	Ικανότητα ροής
Σ2	1,56	Πολύ φτωχή
ΣΑΚ	1,54	Πολύ φτωχή
ΣΑ	1,54	Πολύ φτωχή
ΣΚ	1,47	Πολύ φτωχή
Τυπική Απόκλιση	0,03	

Ο δείκτης συμπιεστότητας και η αναλογία Hausner συμφωνούν ότι όλα τα δείγματα παρουσιάζουν πολύ φτωχή ροή. Ο δείκτης συμπιεστότητας την χαρακτηρίζει πολύ πολύ φτωχή.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα I (σχήματα 37, 38, 39, 40).

Για τον δείκτη συμπίεστικότητας δημιουργήθηκε ένα IntervalPlot για την σύγκριση του συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά πριν την ξήρανση, το οποίο έδειξε ότι $P \geq 0,05$, επομένως όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Dunnett που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια και είναι ίσα με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά.

Όσον αφορά την αναλογία Hausner το IntervalPlot έδειξε πως $P \geq 0,05$. Άρα όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους, επομένως ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Dunnett έδειξε ότι όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια και είναι ίσα με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά.

5.3.2.2. Μετά την ξήρανση

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται ο δείκτης συμπίεστικότητας και η αναλογία Hausner του συμπλοκοποιημένου αμύλου μετά την ξήρανση.

Πίνακας 32: Δείκτης συμπίεστικότητας(%)

Σ2	ΣΑΚ	ΣΑ	ΣΚ
44,64	49,09	53,77	63,46
42,85	56,48	56,25	57,27
Μέσος Όρος			
43,75	52,78	55,01	60,36
Τυπική απόκλιση			
1,26	5,22	1,75	4,37

Πίνακας 33: Αναλογία Hausner

Σ2	ΣΑΚ	ΣΑ	ΣΚ
1,44	1,49	1,53	1,63
1,42	1,56	1,56	1,57
Μέσος Όρος			
1,43	1,52	1,55	1,60
Τυπική απόκλιση			

ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

0,012	0,056	0,01	0,04
-------	-------	------	------

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι ικανότητες ροής της σκόνης του συμπλοκοποιημένου αμύλου όπως φαίνονται στην κλίμακα ροής (πίνακας 3) προηγούμενου κεφαλαίου, με βάση τον δείκτη συμπιεστότητας και την αναλογία Hausner.

Πίνακας 34: Βάση του δείκτη συμπιεστότητας φαίνεται η ικανότητα ροής του συμπλοκοποιημένου αμύλου μετά την ξήρανση

Δείγματα	Δείκτης συμπιεστότητας %	Ικανότητα ροής
Σ2	43,9	Πολύ πολύ φτωχή
ΣΑΚ	52,8	Πολύ πολύ φτωχή
ΣΑ	55,0	Πολύ πολύ φτωχή
ΣΚ	60,4	Πολύ πολύ φτωχή
Τυπική Απόκλιση	6,87	

Πίνακας 35: Βάση την αναλογία Hausner φαίνεται η ικανότητα ροής του συμπλοκοποιημένου αμύλου μετά την ξήρανση

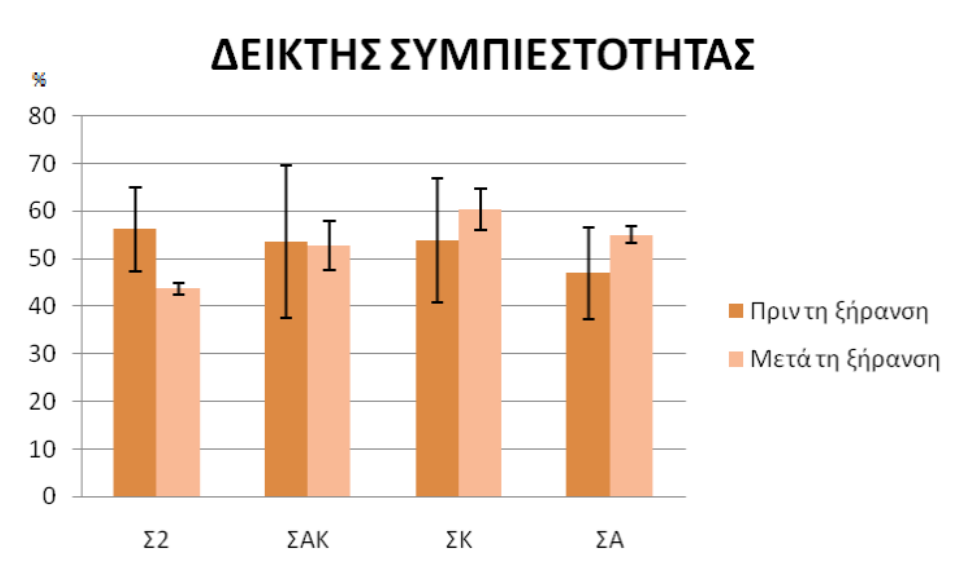
Δείγματα	Αναλογία Hausner	Ικανότητα ροής
Σ2	1,41	Πολύ φτωχή
ΣΑΚ	1,24	Πολύ φτωχή
ΣΑ	1,23	Πολύ φτωχή
ΣΚ	1,40	Πολύ φτωχή
Τυπική Απόκλιση	0,098	

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής «MINITAB» ώστε να αποδειχθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και φαίνονται στο Παράρτημα Ι (σχήματα 41, 42, 43, 44).

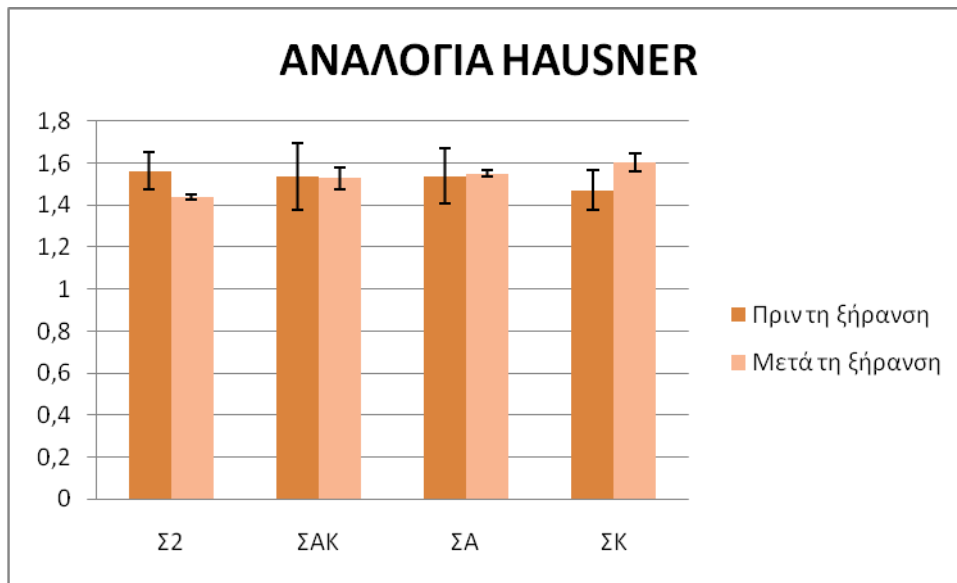
Για τον δείκτη συμπιεστότητας δημιουργήθηκε ένα IntervalPlot για την σύγκριση του συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής. Η σύγκριση αυτή έδειξε ότι $P \leq 0,05$ και επομένως όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και οι μέσοι όροι δεν είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος

Dunnnett έδειξε πως όλα τα δείγματα βρίσκονται μέσα στα όρια και είναι ίσα με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά.

Για την αναλογία Hausner έγινε ένα IntervalPlot το οποίο έδειξε ότι $P \geq 0,05$. Άρα όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους και επομένως ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Dunnnett έδειξε πως όλα τα δείγματα είναι δεν ίσα με το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά. Το συμπλοκοποιημένο άμυλο με Kollidon βρίσκεται έξω από τα όρια και διαφέρει στατιστικά σημαντικά.



Σχήμα 13: Δείκτης συμπίεστικότητας του συμπλοκοποιημένου αμύλου (Σ2), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil (ΣΑ), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Kollidon (ΣΚ), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil και Kollidon (ΣΑΚ) πριν και μετά την ξήρανση



Σχήμα 14: Αναλογία Hausner του συμπλοκοποιημένου αμύλου(Σ2), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil (ΣΑ), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Kollidon (ΣΚ), συμπλοκοποιημένου αμύλου με Aerosil και Kollidon (ΣΑΚ) πριν και μετά την ξήρανση

Από τους πίνακες αλλά και από τα διαγράμματα φαίνεται ότι τα αποτελέσματα μετά την ξήρανση είναι ακριβώς τα ίδια, και στον δείκτη συμπιεστότητας και στην αναλογία Hausner, με πριν την ξήρανση. Η ροή χαρακτηρίζεται ως πολύ φτωχή από την αναλογία Hausner και πολύ πολύ φτωχή από τον δείκτη συμπιεστότητας. Η τιμή P για τον δείκτη συμπιεστότητας και για την αναλογία Hausner πριν και μετά την ξήρανση είναι μεγαλύτερη από 0,05. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Έτσι η ξήρανση δεν επηρεάζει τις ικανότητες ροής της σκόνης αμύλου.

Συγκρίνεται το συμπλοκοποιημένο άμυλο με περισσότερη υγρασία χωρίς βελτιωτικά και συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά για να εξακριβωθεί αν η υγρασία επηρεάζει τα δείγματα. (βλ. Παράρτημα I σχήματα 45 και 46)

Το IntervalPlot έδειξε πως $P \geq 0,05$. Όλοι οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Ο έλεγχος Hsu MCB έδειξε πως οι μέσοι όροι επικαλύπτουν το μηδέν και άρα είναι ίσοι με τον καλύτερο μέσο όρο.

Για να αποδειχθεί αν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ του συμπλοκοποιημένου αμύλου και του αμύλου χωρίς βελτιωτικά ροής γίνεται ένα IntervalPlot συγκρίνοντας τις δύο αυτές παραμέτρους (βλ. Παράρτημα I σχήματα 47 και 48). Οι μέσοι όροι επικαλύπτονται μεταξύ τους που σημαίνει πως όλοι οι μέσοι όροι δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι όροι είναι ίσοι μεταξύ τους. Στον έλεγχο Hsu MCB οι μέσοι όροι συγκρίνονται μεταξύ τους και με τον μικρότερο μέσο όρο ταυτόχρονα. Το δείγμα που δεν επικαλύπτει το μηδέν διαφέρει από τον καλύτερο μέσο όρο. Το συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά δεν επικαλύπτει το 0. Όταν δεν είναι ξεκάθαρο από το σχήμα βοηθάει η τιμή $P=0,020$ ($\leq 0,05$).

Ζητείται να αποδειχθεί αν η ξήρανση επηρεάζει τα δείγματα αμύλου με ή χωρίς βελτιωτικά ροής για τον δείκτη συμπίεστικότητας

- Σύμπλοκο με Aerosil

$P = 0,0497 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με Kollidon

$P = 0,477 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Άμυλο με Aerosil +Kollidon

$P = 0,969 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο χωρίς βελτιωτικά

$P = 0,330 > 0,05$ Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

Από τα στατιστικά αποτελέσματα παρατηρείται ότι η ξήρανση επηρεάζει τα δείγματα. Τα δείγματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά πριν και μετά την ξήρανση.

Ζητείται να αποδειχθεί αν η ξήρανση επηρεάζει τα δείγματα συμπλοκοποιημένου αμύλου με ή χωρίς βελτιωτικά ροής για την αναλογία Hausner.

- Σύμπλοκο με Aerosil

$P = 0,180 > 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με Kollidon

$P = 0,458 > 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Σύμπλοκο με Aerosil και Kollidon

$P = 0,957 > 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

- Συμπλοκο χωρίς βελτιωτικά ροής

$P = 0,319 > 0,05$ Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και τα δείγματα είναι ίσα.

Η ξήρανση δεν επηρεάζει τα δείγματα του συμπλοκοποιημένου αμύλου. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δείγματα πριν από την ξήρανση έχουν ήδη πολύ φτωχή ροή. Για τον δείκτη συμπίεστότητας $P > 0,05$. Για την αναλογία Hausner, $P > 0,05$. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και όλοι οι μέσοι όροι είναι ίσοι. Έτσι τα δείγματα δεν παρουσιάζουν στατιστική διαφορά πριν και μετά την ξήρανση και συνεπώς η ξήρανση δεν επηρεάζει την ικανότητα ροής της σκόνης αμύλου.

5.4. Μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων

Για την μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα Mastersizer. Έτσι με την βοήθειά του υπολογίστηκε η ομοιομορφία των σωματιδίων και ο μέσος όρος τους. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης.

Πίνακας 36: Ομοιομορφία και μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου

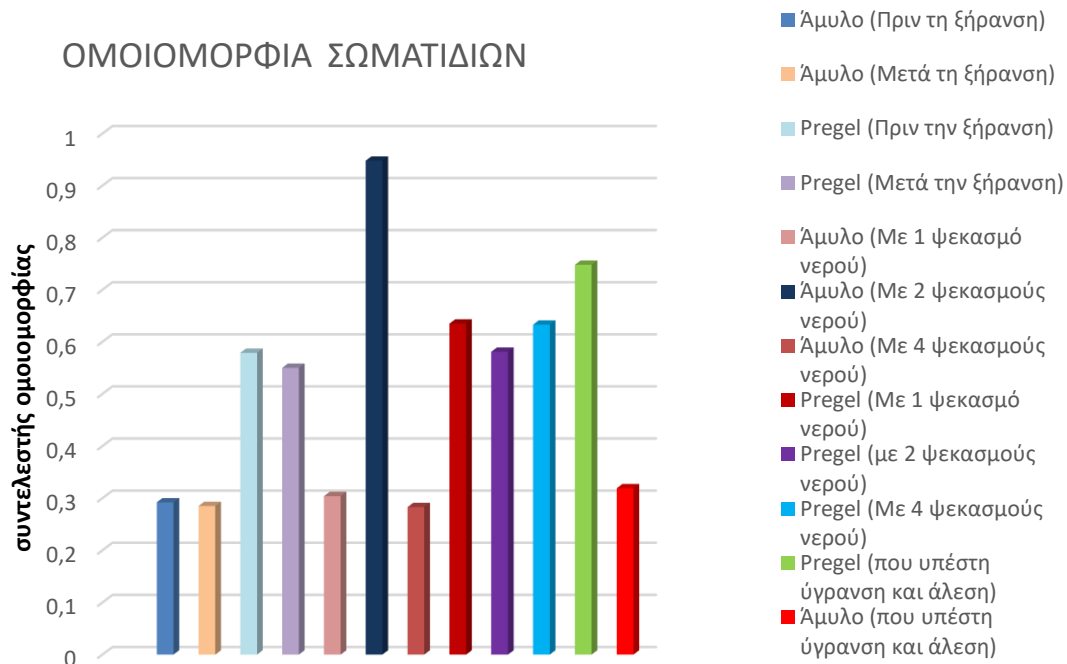
Δείγματα	Ομοιομορφία σωματιδίων	Μέσος Όρος μεγέθους των σωματιδίων (μm)
Άμυλο(Πριν τη ξήρανση)	0,292	14,108
Άμυλο(Μετά τη ξήρανση)	0,285	14,027
Προζελατινοποιημένο άμυλο (Πριν την ξήρανση)	0,579	205,360
Προζελατινοποιημένο άμυλο (Μετά την ξήρανση)	0,55	215,525
Άμυλο (Με 1 ψεκασμό νερού)	0,304	14,001
Άμυλο(Με 2 ψεκασμούς νερού)	0,948	72,939
Άμυλο (Με 4 ψεκασμούς νερού)	0,283	13,870
Προζελατινοποιημένο άμυλο (Με 1 ψεκασμό νερού)	0,635	187,605

Προζελατινοποιημένο άμυλο (με 2 ψεκασμούς νερού)	0,581	202,500
Προζελατινοποιημένο άμυλο (Με 4 ψεκασμούς νερού)	0,633	185,800
Προζελατινοποιημένο άμυλο (που υπέστη ύγρανση και άλεση)	0,748	156,424
Άμυλο (που υπέστη ύγρανση και άλεση)	0,319	14,231

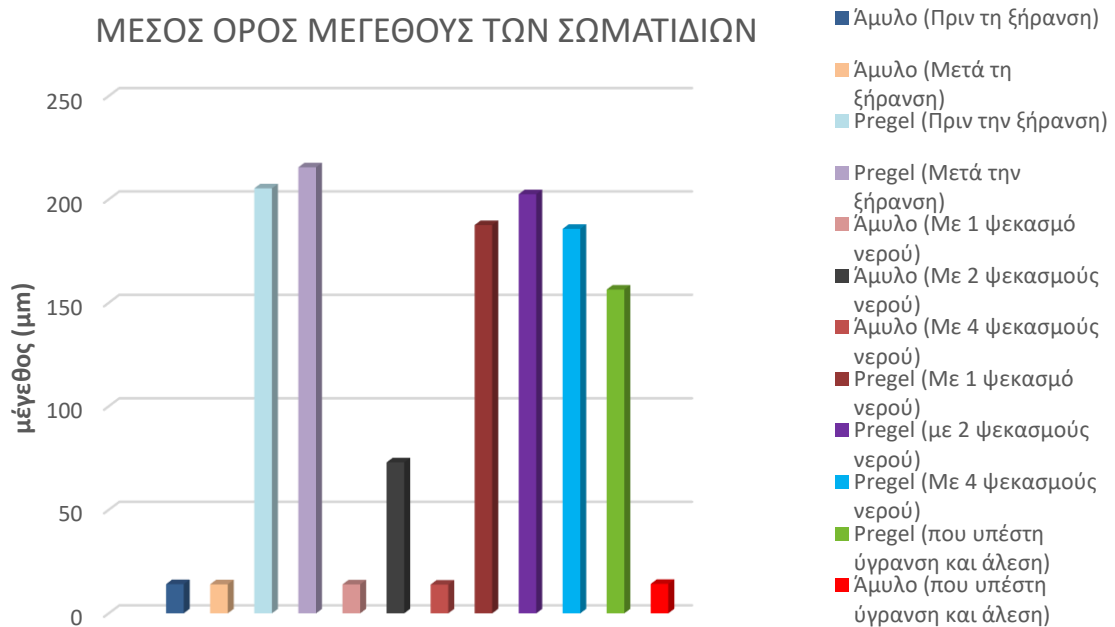
Αρχικά παρατηρείται ότι μετά την ξήρανση, το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται λίγο. Το ίδιο παρατηρείται και από τα αποτελέσματα του προζελατινοποιημένου αμύλου. Γενικά φαίνεται από τα αποτελέσματα του μέσου όρου του μεγέθους των σωματιδίων ότι τα δείγματα με προζελατοποιημένο άμυλο έχουν αρκετά μεγαλύτερο μέγεθος από αυτό των δειγμάτων αμύλου.

Από τα αποτελέσματα του αμύλου τόσο κατά την ομοιομορφία όσο και κατά το μέγεθος των σωματιδίων διαπιστώνεται ότι η επιπλέον υγρασία δεν φαίνεται να έχει θετικά αποτελέσματα, σε κανένα από τα δείγματα, όπως περιμέναμε.

Τα ιδανικά αποτελέσματα θα ήταν όσο το δυνατόν μικρότερο νούμερο στην ομοιομορφία των σωματιδίων και αντιστρόφως, αρκετά μεγάλο νούμερο, στο μέγεθος των σωματιδίων. Όπως ακριβώς συμβαίνει με το προζελατοποιημένο άμυλο.



Σχήμα 15: Ομοιομορφία των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου

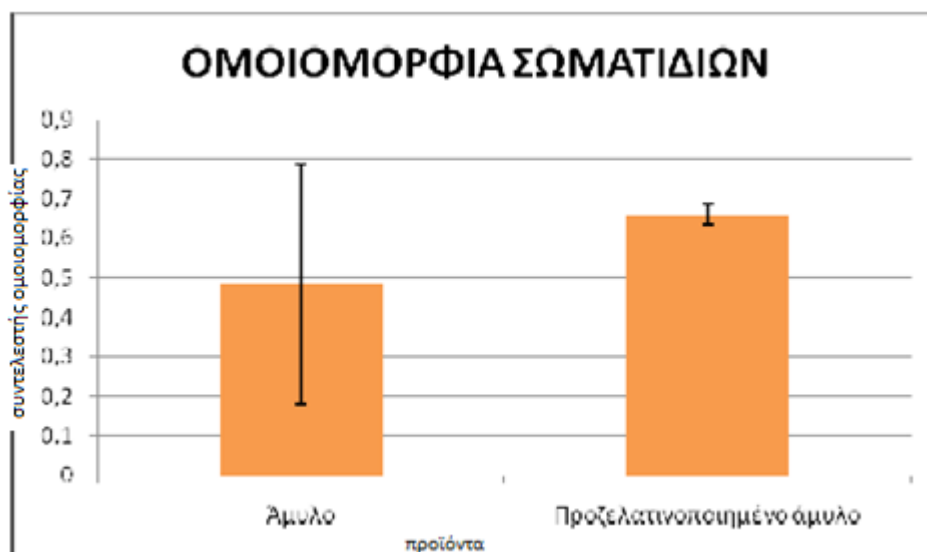


Σχήμα 16: Μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου

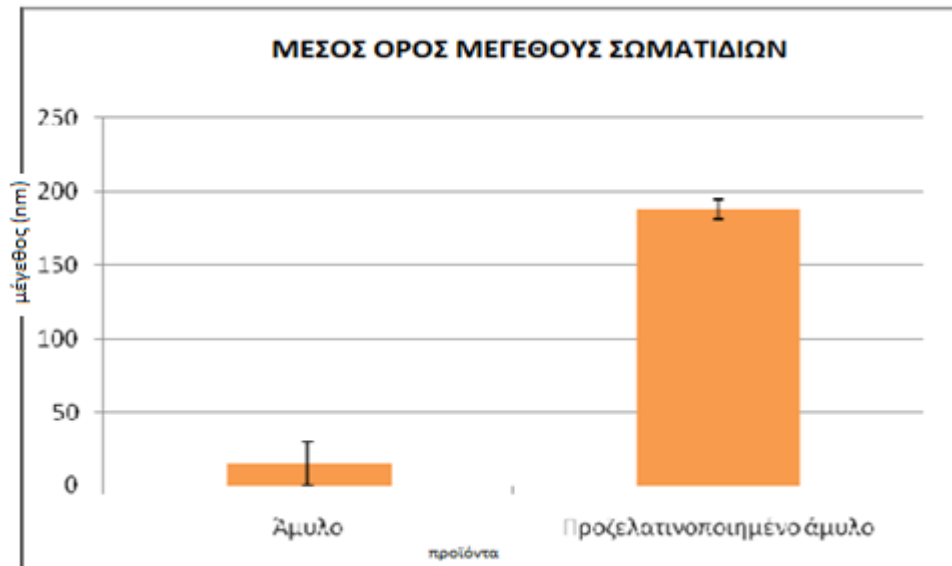
ΜΕΛΕΤΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΡΟΗΣ ΑΜΥΛΟΥ ΣΕ ΣΚΟΝΗ

Πίνακας 37: Ομοιομορφία και μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου(pregel) που η υγρασία τους αυξήθηκε σε πυραντήριο

	Ομοιομορφία σωματιδίων	Μέσος όρος μεγέθους των σωματιδίων
1ο δείγμα αμύλου	0,8	40,2
2ο δείγμα αμύλου	0,3	14,4
3ο δείγμα αμύλου	0,3	14,6
Μέσος Όρος Αμύλου	0,5	23,1
Τυπική Απόκλιση Αμύλου	0,3	14,8
1ο δείγμα προζελατινοποιημένου αμύλου	0,7	180,7
2ο δείγμα προζελατινοποιημένου αμύλου	0,7	189,1
3ο δείγμα προζελατινοποιημένου αμύλου	0,6	194,1
Μέσος Όρος Προζελατινοποιημένου Αμύλου	0,7	188
Τυπική Απόκλιση Προζελατινοποιημένου Αμύλου	0,027	6,7



Σχήμα 17: Ομοιομορφία σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου στα οποία η υγρασία αυξήθηκε σε πυραντήριο



Σχήμα 18: Μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου στα οποία η υγρασία αυξήθηκε σε πυραντήριο

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης του μεγέθους των σωματιδίων αμύλου και προζελατινοποιημένου αμύλου αναλύθηκαν με το στατιστικό πρόγραμμα MINITAB 18 και βγήκε το εξής συμπέρασμα:

$P=0,005 (\leq 0,05)$. Άρα ισχύει η εναλλακτική υπόθεση και οι μέσοι όροι των δειγμάτων δεν είναι ίσοι. Ο μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων του προζελατινοποιημένου αμύλου είναι πολύ μεγαλύτερο από τον μέσο όρο του μεγέθους του αμύλου.

Για την ομοιομορφία των σωματιδίων, $P=0,3 > 0,05$. Άρα ισχύει η μηδενική υπόθεση και οι μέσοι όροι των δειγμάτων είναι ίσοι.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Γενικά παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη συμπιεστότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία Hausner και τόσο φτωχότερη η ροή, κάτι που είναι λογικό σύμφωνα με παρόμοιο πείραμα που έγινε από τους Grey και Beddow, όπου μελετήθηκε η σχέση της αναλογίας Hausner με τις ιδιότητες σκόνης μετάλλου. Σε δείγματα σκόνης μετάλλου μετρήθηκε η γωνία εναπόθεσης, η αναλογία Hausner και ο χρόνος ροής. Από τα αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι, όταν η αναλογία Hausner αυξάνεται, αυξάνεται και η τιμή της γωνίας εναπόθεσης. Αντιθέτως, όσο η αναλογία Hausner αυξάνεται, ο ρυθμός ροής της σκόνης μειώνεται. Υποδηλώνεται ότι η αναλογία Hausner τείνει να μετράει καλύτερα την τριβή σε συνθήκες κίνησης παρά σε στατικές συνθήκες. Η μελέτη καταλήγει στο ότι υπάρχει σχέση μεταξύ αναλογίας Hausner και ρυθμού ροής και μεταξύ αναλογίας Hausner και γωνία εναπόθεσης. Επίσης επιβεβαιώνεται ότι η αναλογία Hausner είναι ένα χαρακτηριστικό της σκόνης και όχι ένα στοιχείο για να βρεθεί η ικανότητα ροής όπως είναι όπως είναι ο χρόνος ροής και η γωνία εναπόθεσης. (Grey et al., 1969)

Σύμφωνα με την εργασία των Banura et al., (2017), η οποία μελετά την τροποποίηση αμύλου με τη χρήση πλάσματος αέρα ραδιοσυχνότητας χαμηλής πίεσης, αποδεικνύει πως η απώλεια υγρασίας φέρνει επιθυμητά αποτελέσματα στα χαρακτηριστικά της σκόνης του αμύλου. Συγκεκριμένα αναφέρουν πως η αναλογία Hausner και ο δείκτης συμπιεστότητας των μη επεξεργασμένων δειγμάτων αμύλου καλαμποκιού παρατηρήθηκαν να είναι 1,34 και 25,39% αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι η σκόνη αμύλου είναι ελαφρώς συνεκτική. Μετά την επεξεργασία των δειγμάτων αμύλου όμως, μειώνοντας την υγρασία, η αναλογία Hausner και ο δείκτης συμπιεστότητας μειώθηκαν και αυτό σημαίνει πως βελτιώθηκε η ικανότητα ροής της σκόνης. Έχει παρατηρηθεί ότι μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των σκονών αμύλου μετά τη χρήση πλάσματος και αν ληφθεί υπόψιν ότι η αναλογία Hausner και ο δείκτης συμπιεστότητας εξαρτώνται κυρίως από την περιεκτικότητα σε υγρασία των σκονών τότε βγαίνει το συμπέρασμα ότι η ξήρανση, δηλαδή η μείωση της υγρασίας, βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της ροής της σκόνης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το σκέτο έχει την χειρότερη ικανότητα ροής από όλα τα δείγματα του πειράματος σε αντίθεση με το άμυλο με βελτιωτικά ροής που έχει την καλύτερη ικανότητα ροής από όλα τα δείγματα του πειράματος. Το βελτιωτικό ροής που δίνει την καλύτερη ικανότητα ροής είναι το Aerosil και την φτωχότερη το Kollidon.
- Τα συμπλοκοποιημένα δείγματα με ή χωρίς βελτιωτικά ροής παρουσιάζουν φτωχή ικανότητα ροής. Όλα τα δείγματα συμπλοκοποιημένου αμύλου δεν διαφέρουν στατιστικά.
- Φαίνεται από τα αποτελέσματα του mastersizer, ότι τα δείγματα με ψεκασμούς δεν βοήθησαν ιδιαίτερα την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων. Όλα τα δείγματα αμύλου, εκτός από τα προζελατοποιημένα δείγματα, έχουν παρόμοιες ικανότητες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα.
- Η ξήρανση των δειγμάτων είναι ένας παράγοντας που δεν επηρεάζεται δείγματα όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα.
- Το προζελατινοποιημένο άμυλο θα μπορούσε να ανταποκρίνεται περισσότερο στις ικανότητες ροής σύμφωνα με το μέσο όρο του μεγέθους των σωματιδίων είναι αρκετά μεγαλύτερος από όλα τα δείγματα που περιέχουν άμυλο, είτε αυτό είναι συμπλοκοποιημένο, είτε όχι, είτε περιέχει βελτιωτικά ροής, είτε όχι.

8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Χρήση συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα σε μοριακές νανοκάψουλες
- Χρήση συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα σε χάπια.
- Αντικατάσταση συστατικών τροφών με συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα και μελέτη των θερμίδων.
- Αντικατάσταση συστατικών τροφών με συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα με σκοπό τη μείωση του κόστους του τροφίμου.
- Μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των συμπλόκωναμυλόζης με λιπαρά οξέα κατά τη θερμική επεξεργασία και η επίπτωση τους στα τρόφιμα.

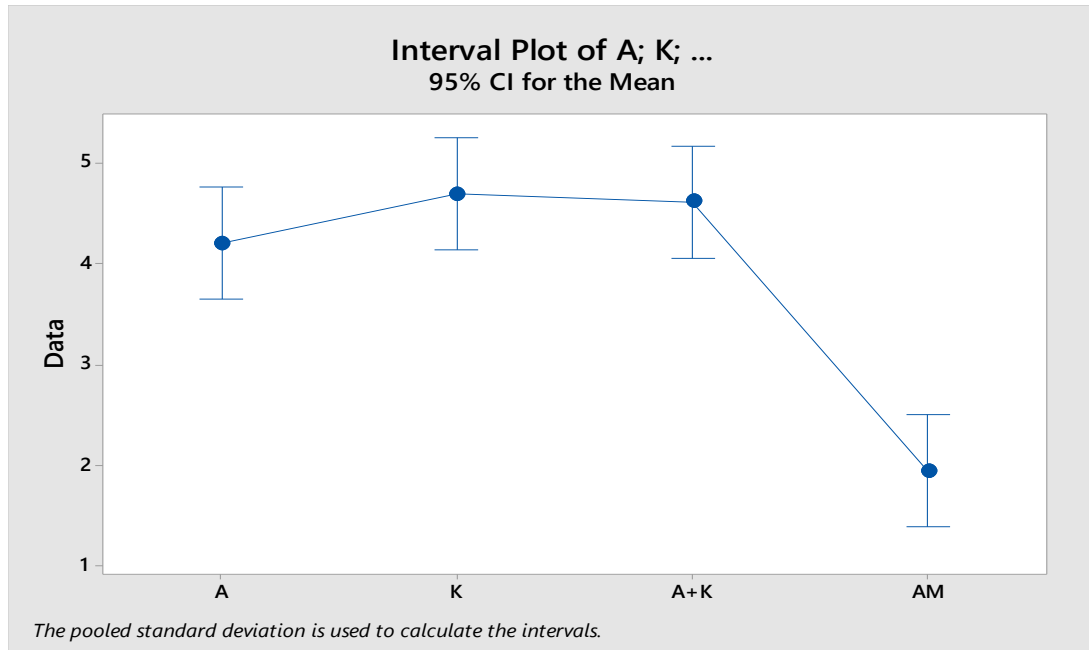
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γκοτζαμάνης Γ. (2007). Ανάπτυξη νέων «ευφυών» κατά συστάδες συμπολυμερών τύπου ομοπολυμερές-στατιστικό συμπολυμερές. Διδακτορική διατριβή. Δια τμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στην επιστήμη και τεχνολογία των πολυμερών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Ζαχαρής Κ. (2010). Σημειώσεις Ενόργανης Ανάλυσης Τροφίμων, Θεσσαλονίκη
- Σπηλιόπουλος Ι., Βασική Οργανική Χημεία, (2008), Εκδ. Σταμούλη ΑΕ
- Τζια Τ., Ταούκης Π., Ωραιόπουλος Β. (2009). Επιστήμη και Μηχανική Τροφίμων. Πανεπιστημιακές εκδόσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Barbosa-Canovas G.V., Ortega-Rivas E., Juliano P., Yan H. (2005). Food Powder: Physical Properties, *Processing and Functionality*. Kluwer Academic/Plenum
- Bylund G. (1995). Dairy Proccecing Handbook. Tetra Pak Proccessing Systems AB.
- Bühler V. (2008). Kollidon: Polyvinylpyrrolidone excipients for the pharmaceutical industry. Uploaded by trananhtuan
- Buléon A., Colonna P., Planchot V., & Ball S. (1998). Mini review. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of BiologicalMacromolecules*, 23, 85-112.
- Chayanoot S., Ausa C., Jaruwan N. N., &Chakrit T. (2005). Effect of solvent on fatty acid profile of stearin separated from crude palm oil. In: PSU UNS international conference on engineering and environment, 1-4p.
- Choudhury N. H., &Juliano B. O. (1980). Lipids in developing and mature rice grain. *Phytochemistry*, 19, 1063-1069
- French D. (1973). Chemical and Physical Properties of Starch. *Journal of Animal Science*.**37**, 1048-1061
- Godet M.C., Bizot H., Buléon A. (1995). Crystallization of amylose—fatty acid complexes prepared with different amylose chain lengths. *Carbohydrate Polymers*. **27**, 47-52

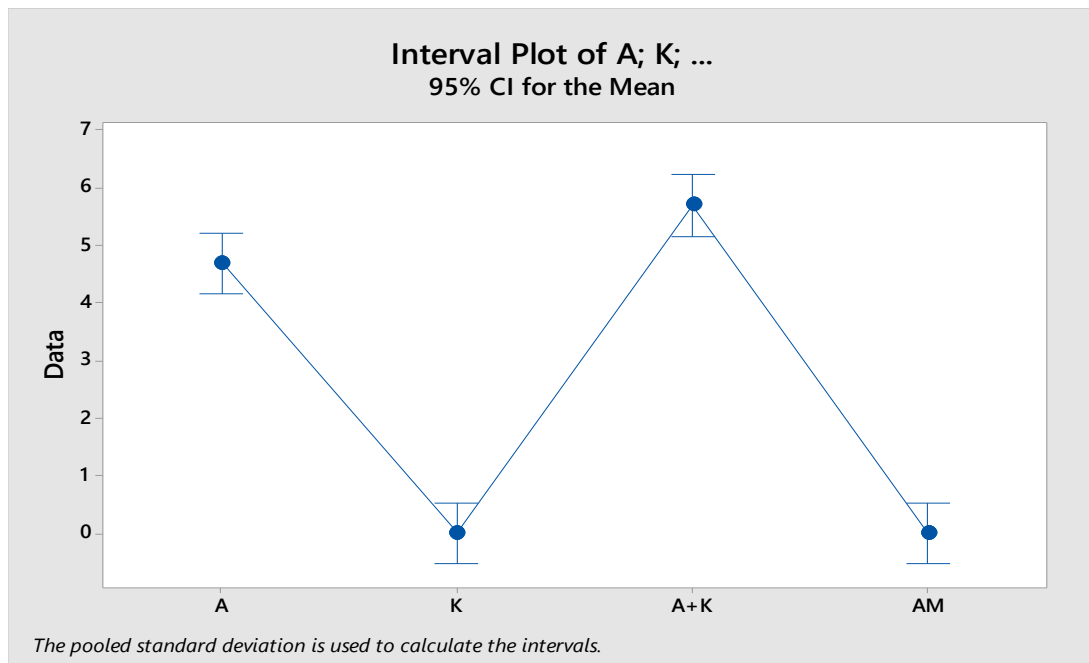
- Goff D.H.(2012). Ice Cream Science and Technology Course Notes. Published by Springer
- GöstaBylund (1995). Dairy Processing Handbook. *Tetra Pak Processing SystemsAB*.
- Grey R. O., Beddow J. K. (1969). On the Hausner Ratio and its Relationship to Some Properties of Met al., Powders. *Powder Technology*, **2**, 323-326
- Hay William T., Behle Robert W., Fanta George F., Felker Frederick C., Peterson Steven C., Selling Gordon W.(2016). Effect of spray drying on the properties of amylose-hexadecylammonium chloride inclusion complexes, *Carbohydrate Polymers*, **157**, (1050-1056)
- Holm J., Björck I., Ostrowska S., Eliasson A.-C., Asp N.-G., Larsson K., Lundquist I. (1983). Digestibility of Amylose-Lipid Complexes in-vitro and in-vivo. *Starch*. **35**, 294-297
- Hulshof K. F., Van Erp-Baart M. A., Anttolainen M., Becker W., Church S.M., CouetC, et al., (1999). Intake of fatty acids in western Europe with emphasis on trans fatty acids: the trans fair Study. *The European Journal of Clinical Nutrition*, **53**(2):143-57
- Immel S., &Lichtenthaler F. W. (2000). The hydrophobic topographies of amylose and its blue iodine complex. *Starch/Stärke*, **52**, 1-8
- Köhler M. (2016). The Free-Flow Effect: Evonik Silica Improve Powder Flowability. www.aerosil.com/product/aerosil/en/effects/free-flow/
- Krzysztof C., Krzysztof S (2010). Spray-Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. **99**, 575-586
- Lenaertsa V., Moussa I., Dumoulin Y., Mebsout F., Chouinar F., Szabo P., Mateescu M.A., Cartilier L., Marchessault R. (1998).Cross-linked high amylose starch for controlled release of drugs: recent advances. *Journal of ControlledRelease*, **53**, 225-234
- Lyckfeldt O., Ferreira J. M. F. (1996). Processing of Porous Ceramics by ‘Starch Consolidation’. *Journal of the European Ceramic Society*. **18**, 131-140
- Mimoz O., Soreda S., Padoin C., Tod M., Petitjean O. (2000). Ceftriaxone Pharmacokinetics during Iatrogenic Hydroxyethyl Starch-included

- Hypoalbuminemia: A Model to Explore the Effects of Decreased Protein Binding Capacity on Highly Bound Drugs. *Anesthesiology*. **93**, 735-743
- Mosbach K., Schroder Ulf (1979). Preparation and Application of Magnetic Polymers for Targeting of Drugs. *Elsevier*. **102**, 112-116
 - Owusu-Apeten R. (2005). Food Protein Analysis: Determination of Proteins in the Food and Agriculture System. In: *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*, CRC Press, pp 30-45
 - Phillips M. (1992). Breath Tests in Medicine. *Scientific American*, 267 (1), 74-79
 - Prescott J.K., Barnum R.A. (2000). On Powder Flowability. *Pharmaceutical Technology*. 60-64
 - Putseys G.A., Lamberts L., Delcour J.A. (2010). Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties. *Journal of Cereal Science*. **51**, 238-247
 - Re M.I (1998). Microencapsulation by Spray Drying. *Drying Technology*. **16:6**, 1195-1236
 - Sandeep B., Milford A.H. (1994). Amylose-Lipid Complex Formation During Single-Screw Extrusion of Various Corn Starches. *Cereal Chemistry*, **71**, 582-587
 - Sidhant B., Rohit T., Amritpal K., Deshmukh R.R., Annapure U.S. (2018). Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma. *Elsevier*. **89**, 719-724
 - Tester R. F., Karkalas J., & Qi X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165
 - Tufvesson F., Skrabanja V., Bjorck I., Liljeberg Elmstahl H., Eliasson A.-C. (2001). Digestibility of Starch Systems Containing Amylose-Glycerol monopalmitin Complexes. *Lebensm-Wiss. U-Technol*. **34**, 131-139

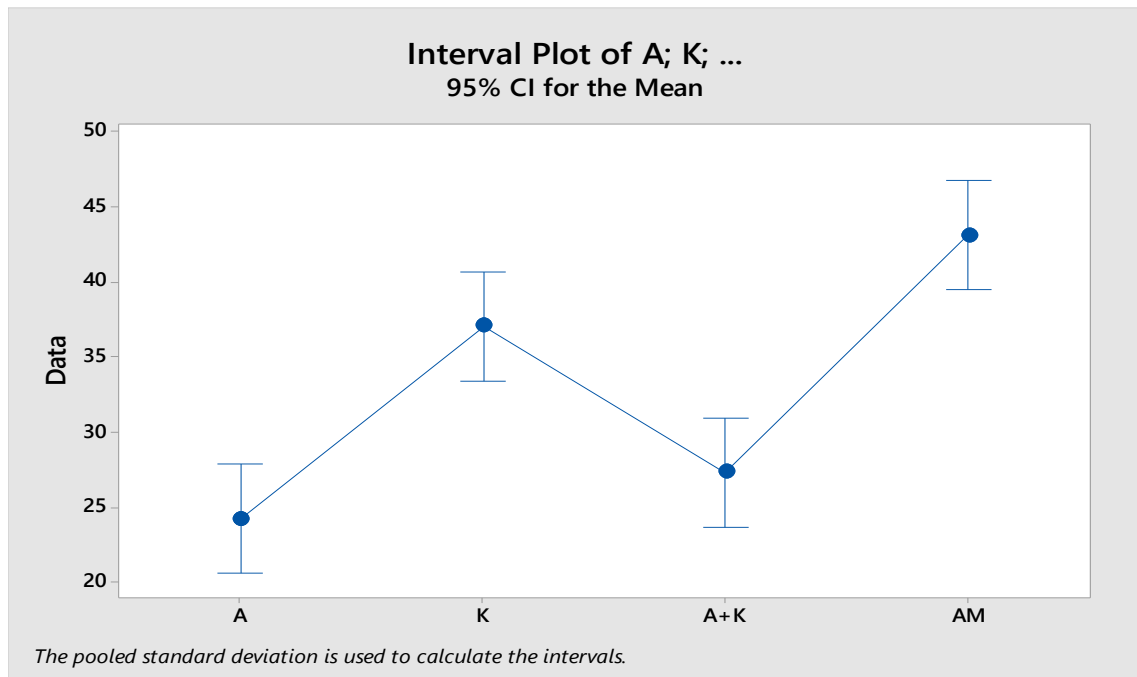
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



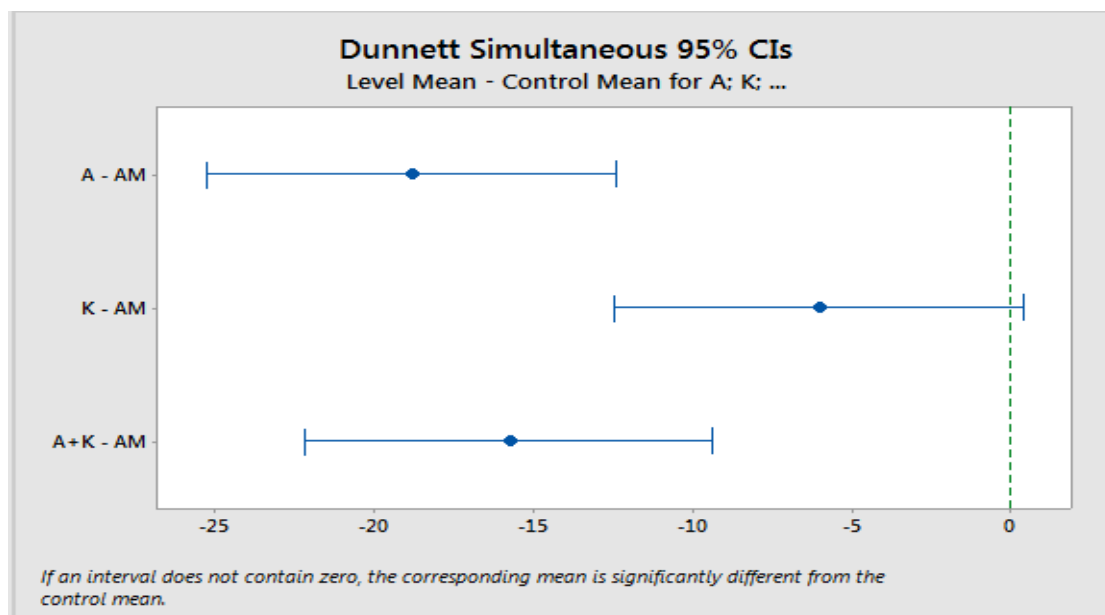
Σχήμα 19: IntervalPlot σκέτου αμύλου με άμυλο με βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



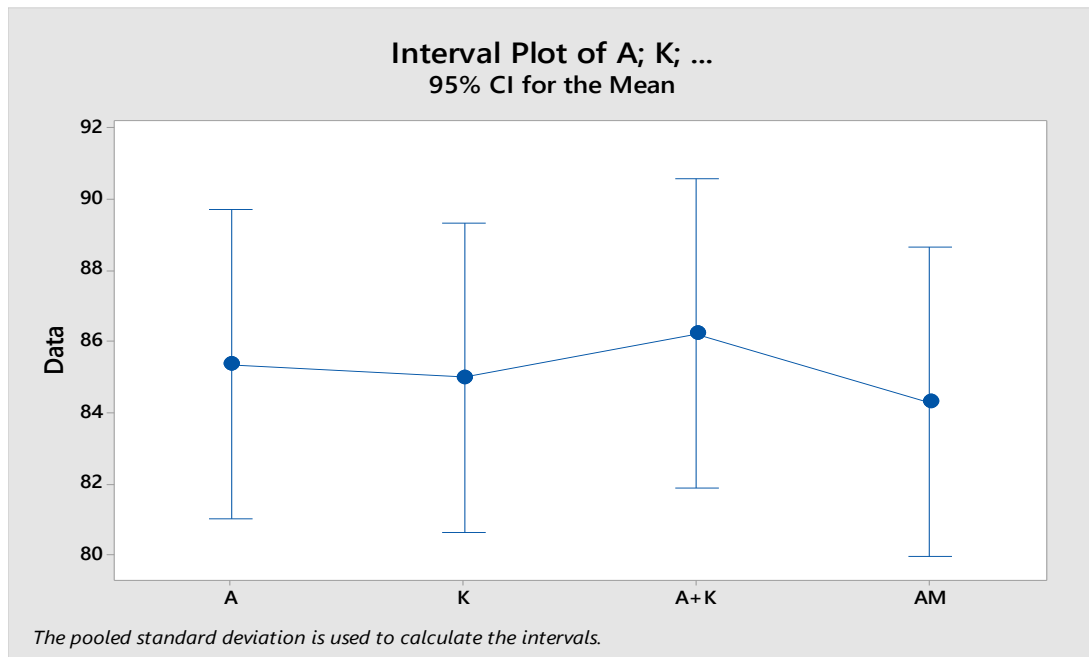
Σχήμα 20: IntervalPlot σκέτου αμύλου με άμυλο με βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



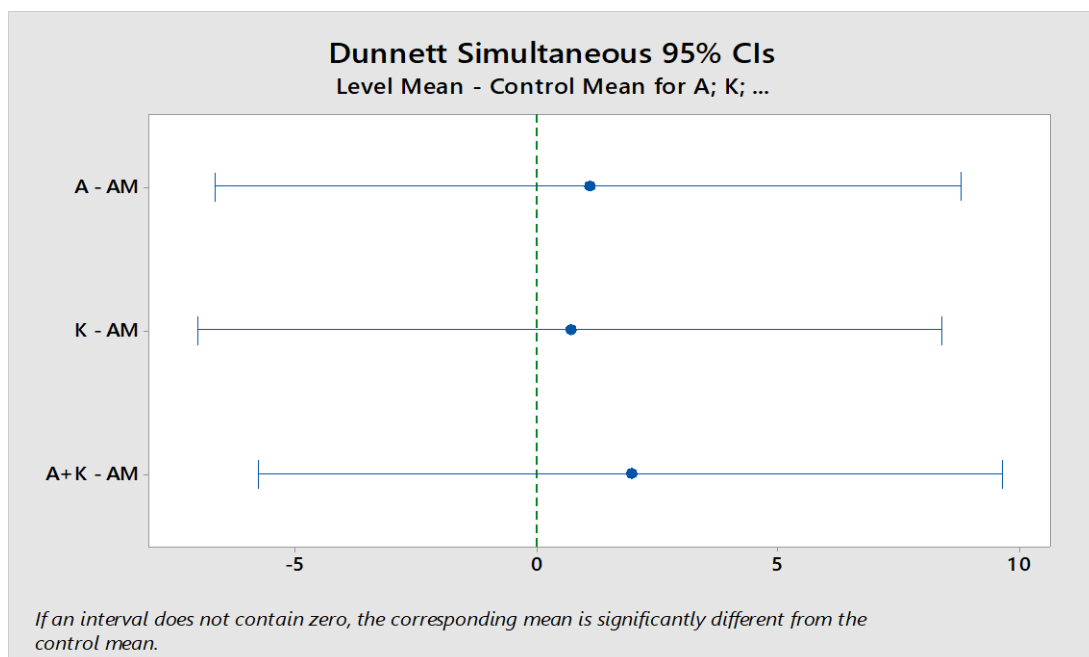
Σχήμα 21: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



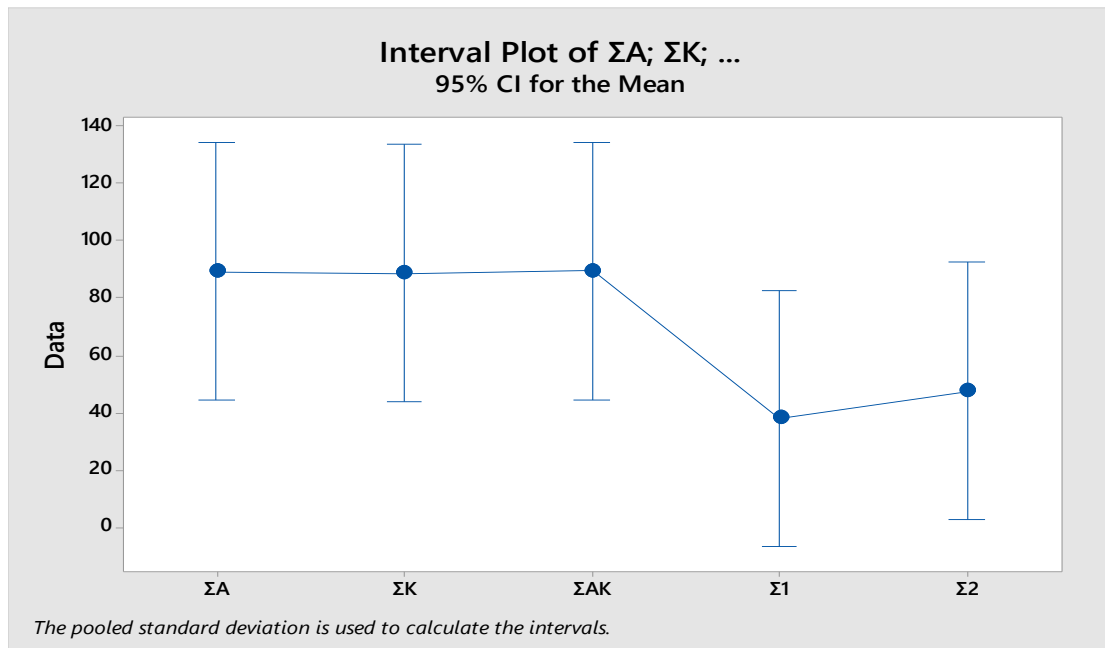
Σχήμα 22: Σύγκριση Dunnnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



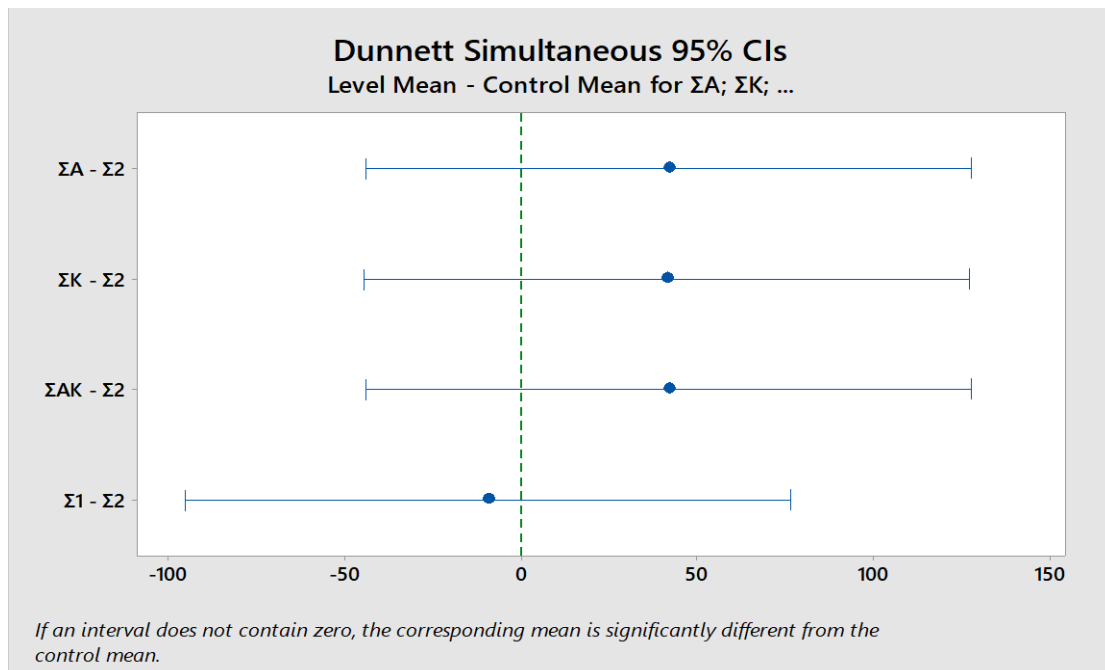
Σχήμα 23: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



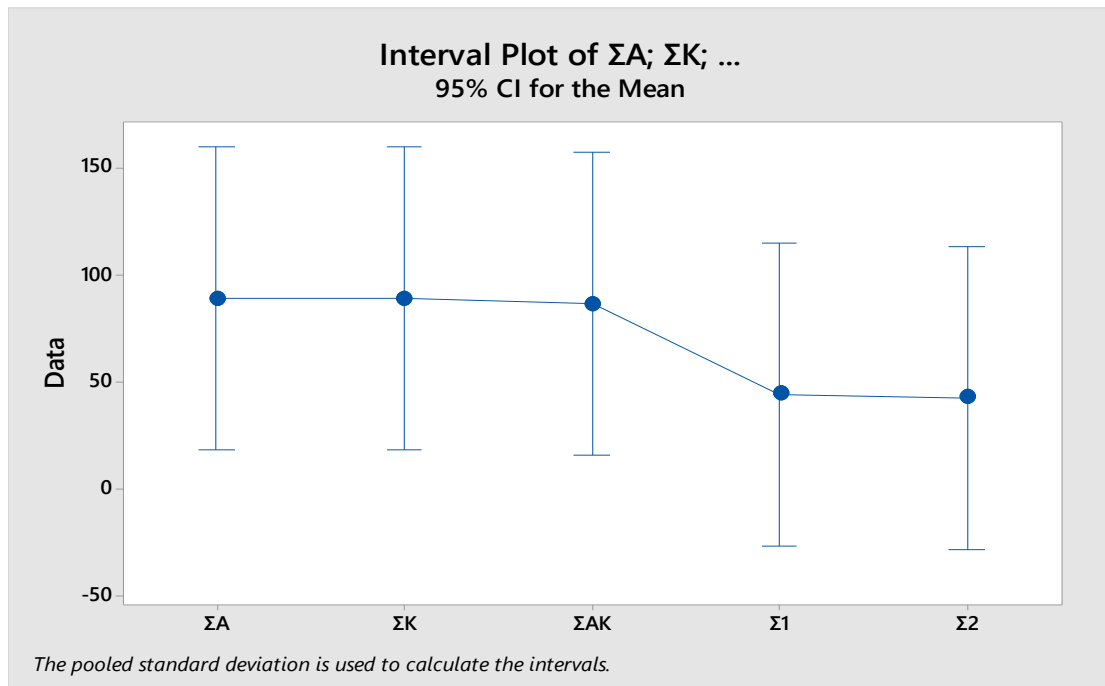
Σχήμα 24: Σύγκριση Dunnnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



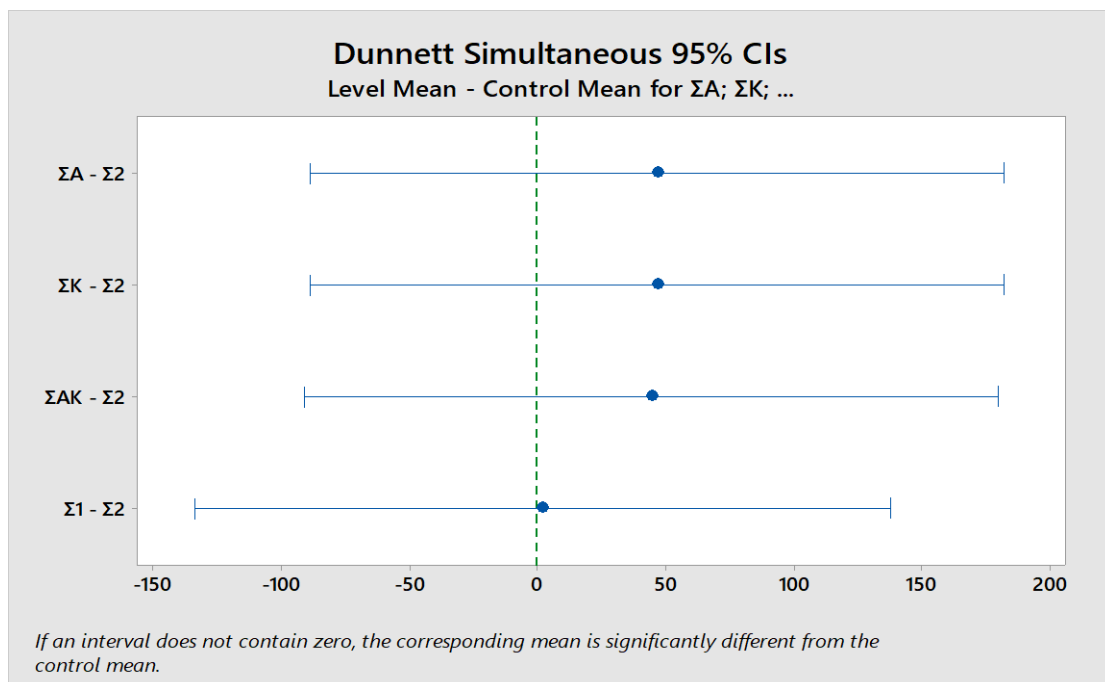
Σχήμα 25: IntervalPlotσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



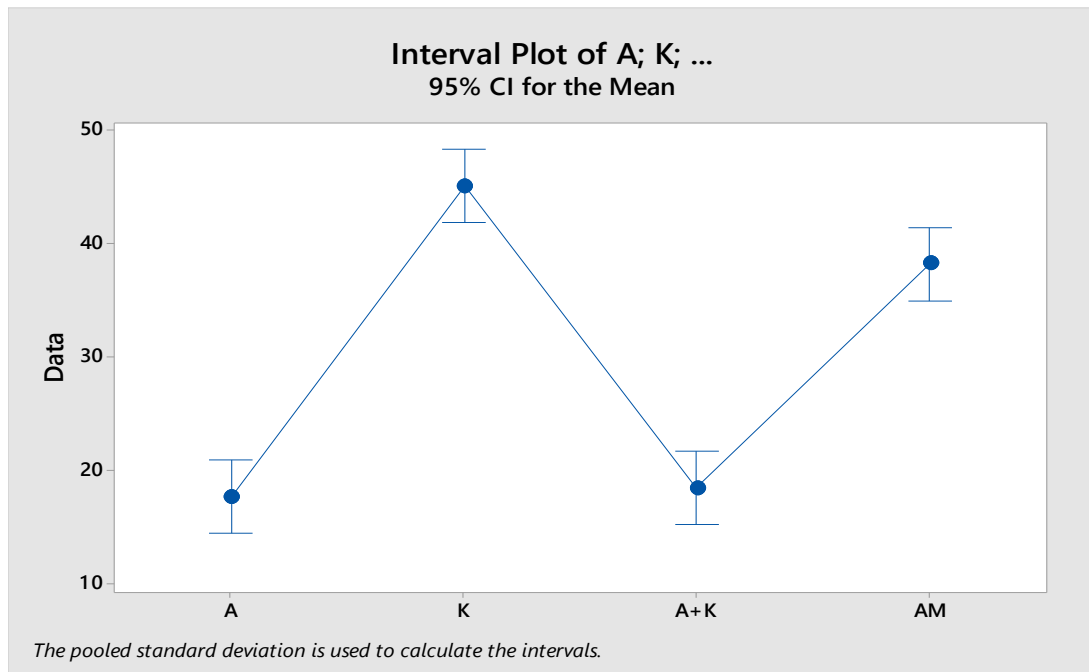
Σχήμα 26: Σύγκριση Dunnettσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



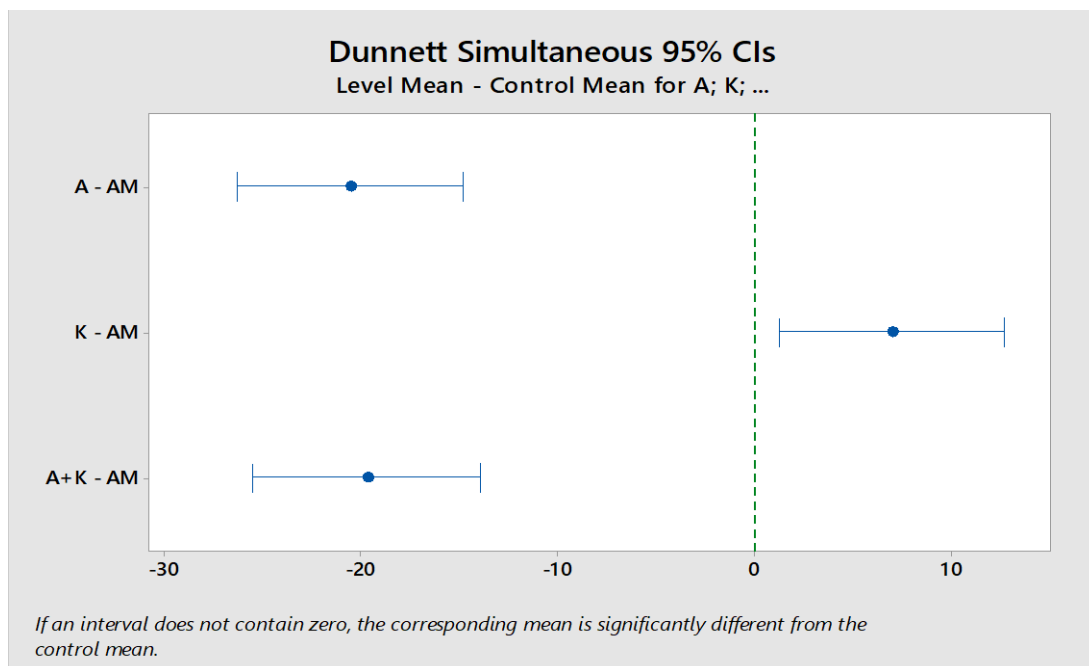
Σχήμα 27: IntervalPlot συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



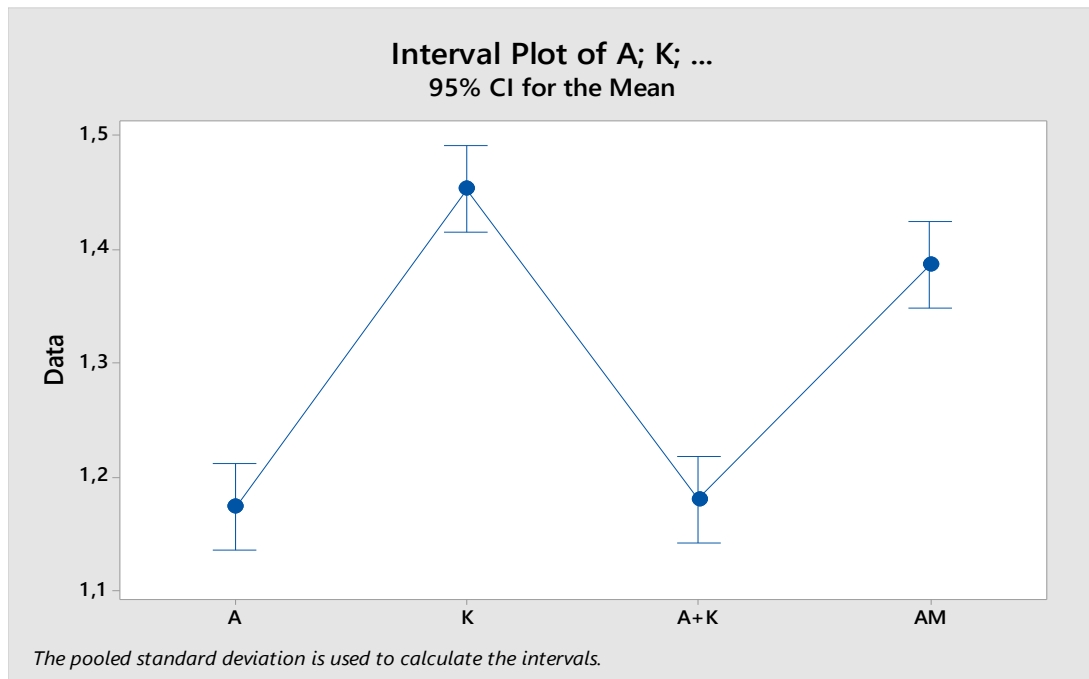
Σχήμα 28: Σύγκριση Dunnnett συμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



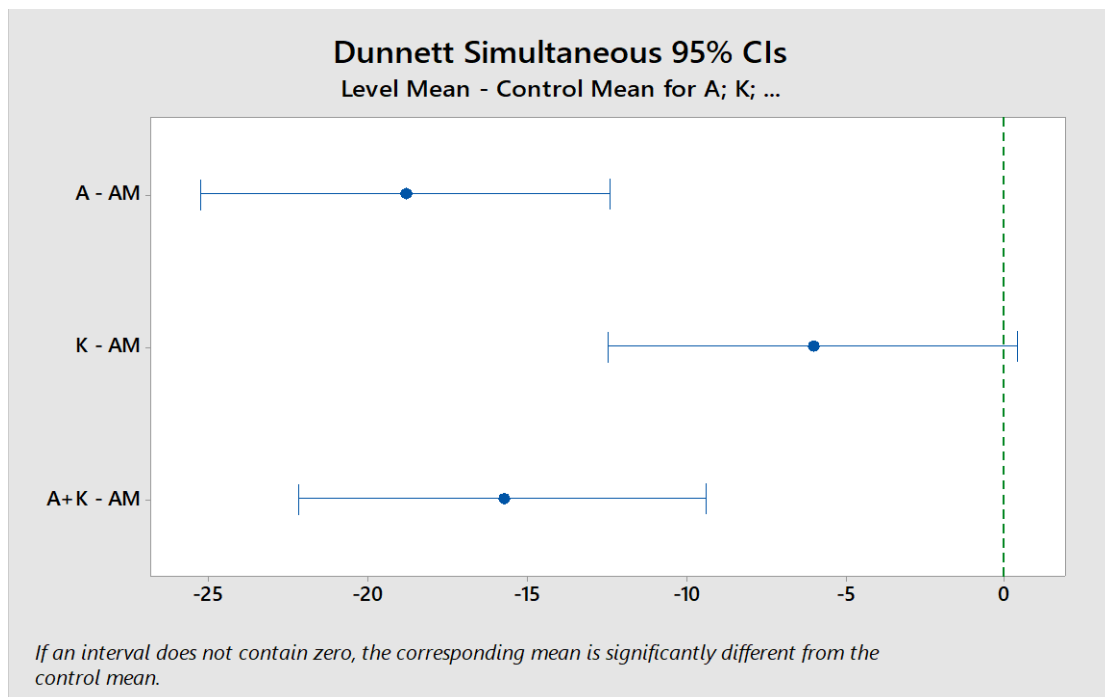
Σχήμα 29: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



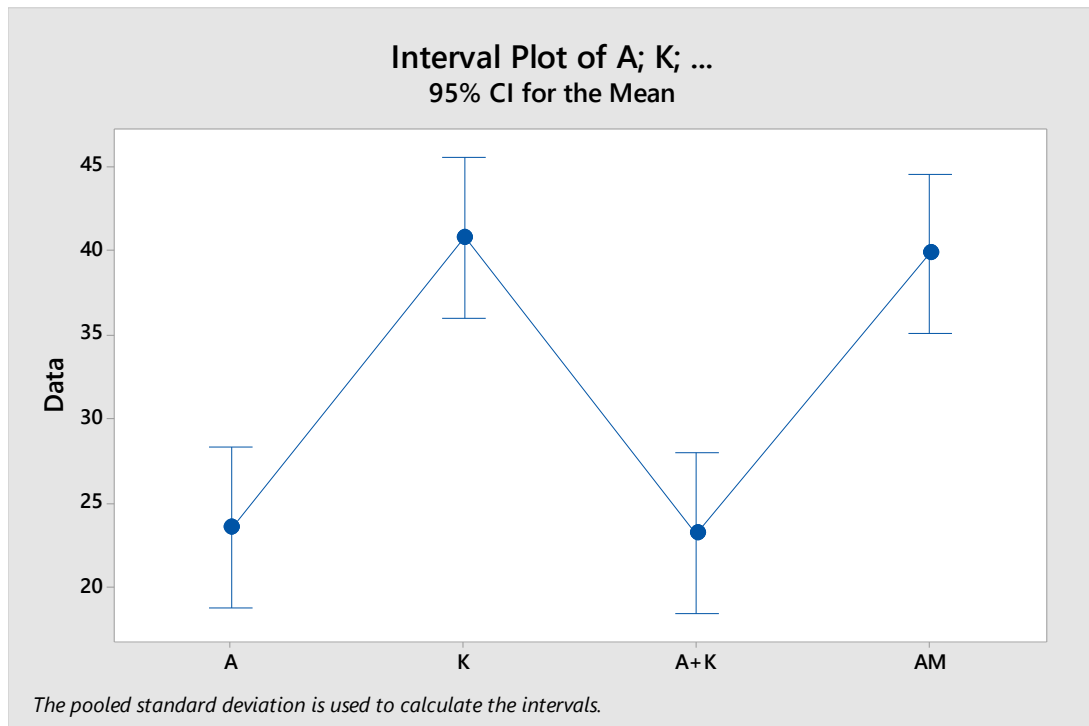
Σχήμα 30: Σύγκριση Dunnnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



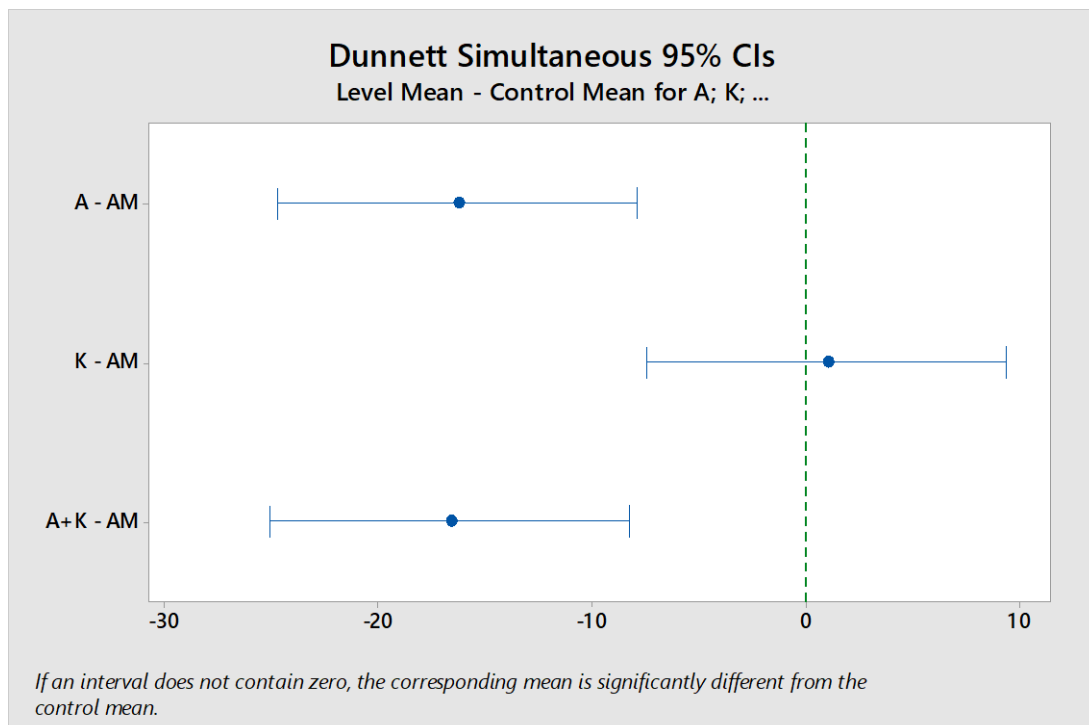
Σχήμα 31: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



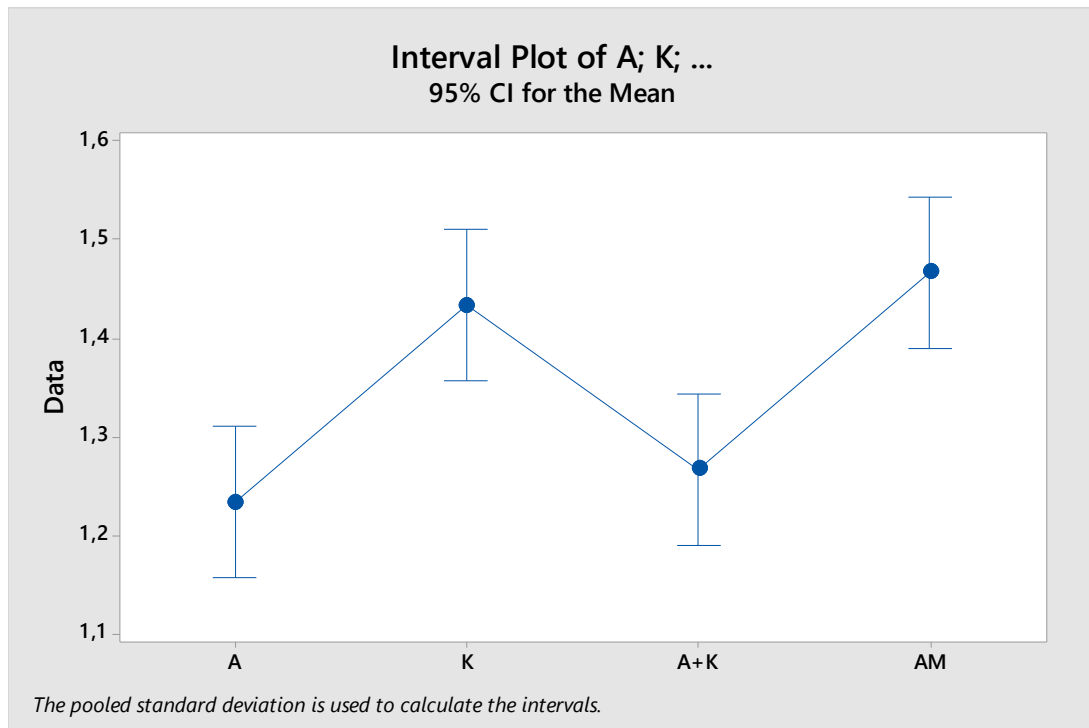
Σχήμα 32: Σύγκριση Dunnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



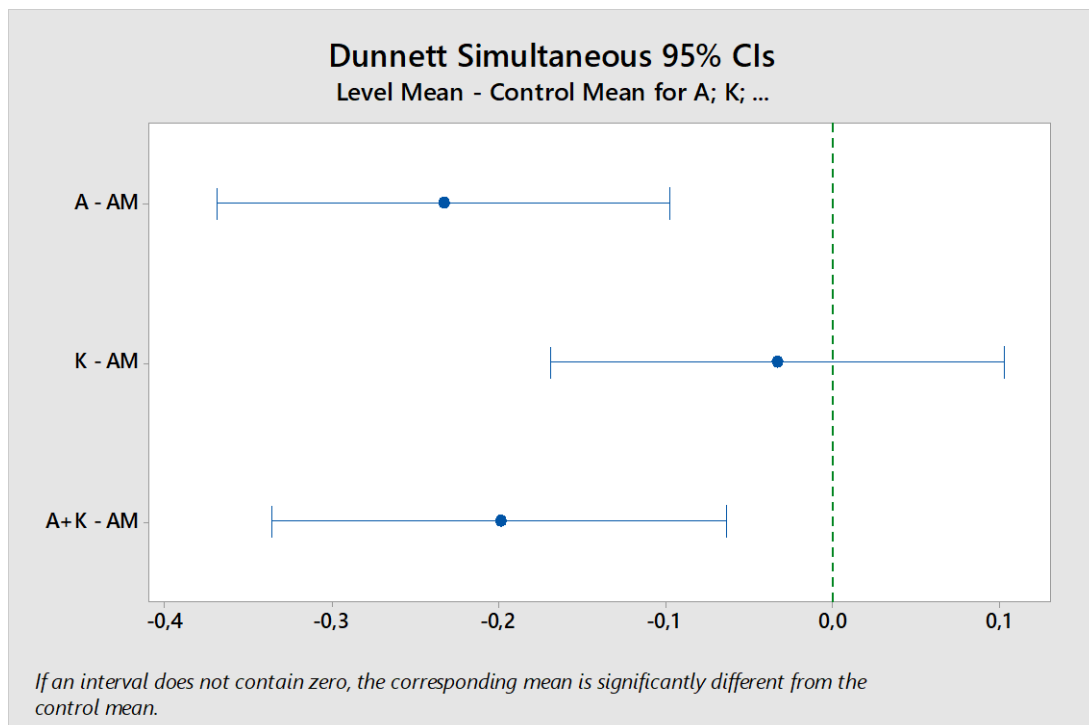
Σχήμα 33: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



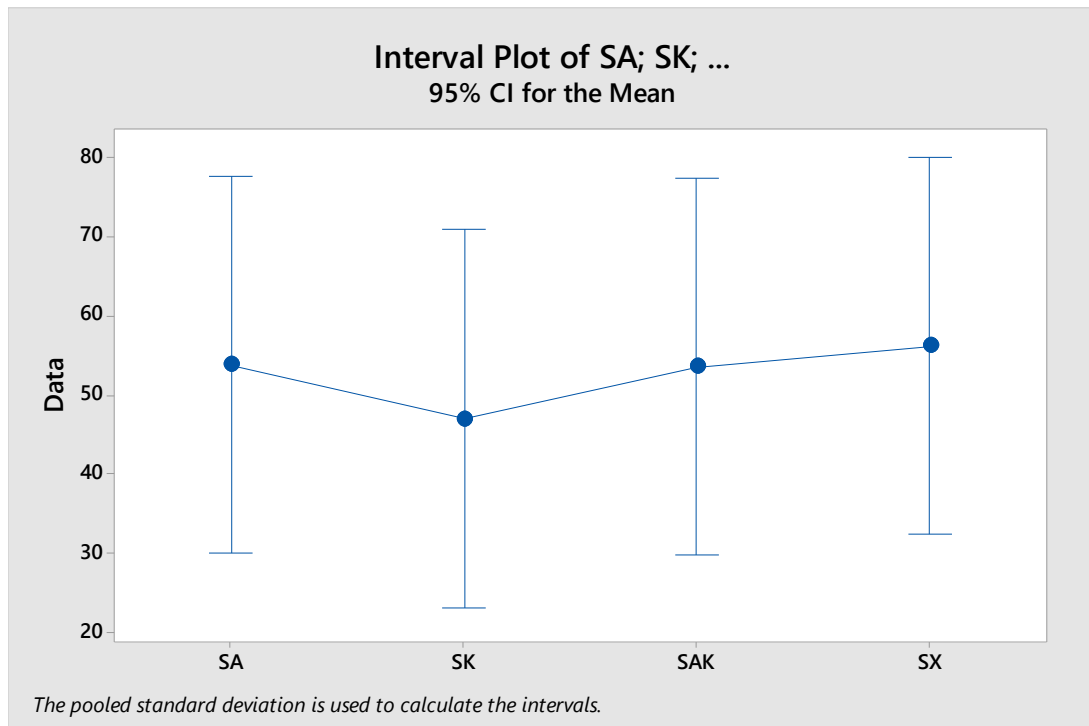
Σχήμα 34: Σύγκριση Dunnnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



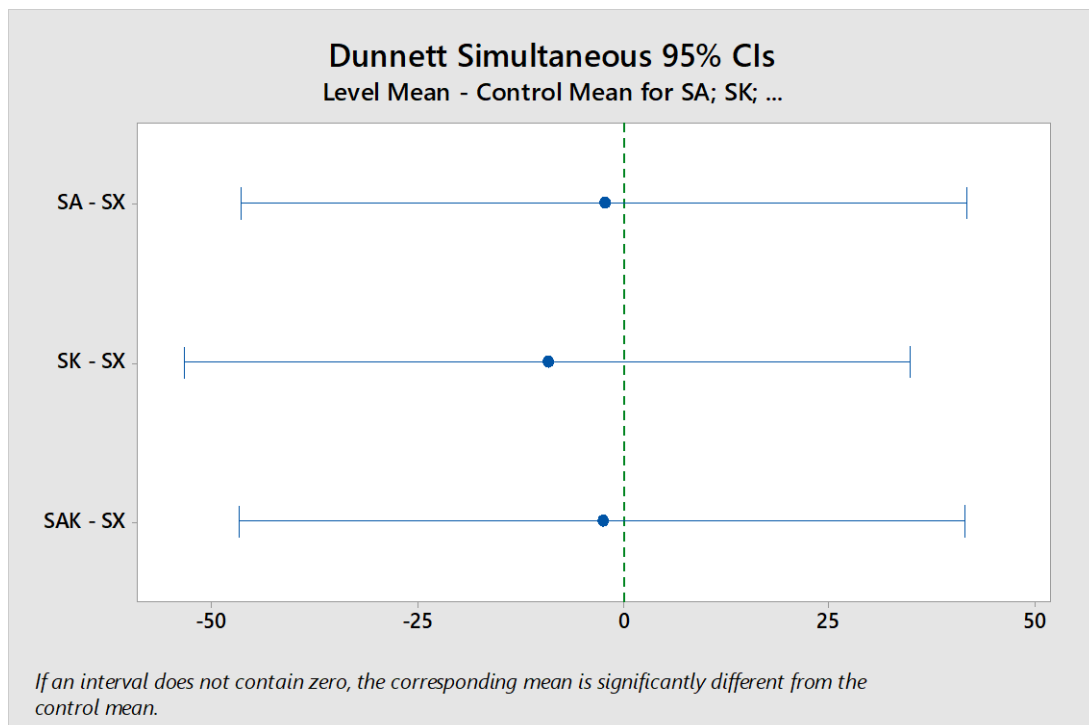
Σχήμα 35: IntervalPlot αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



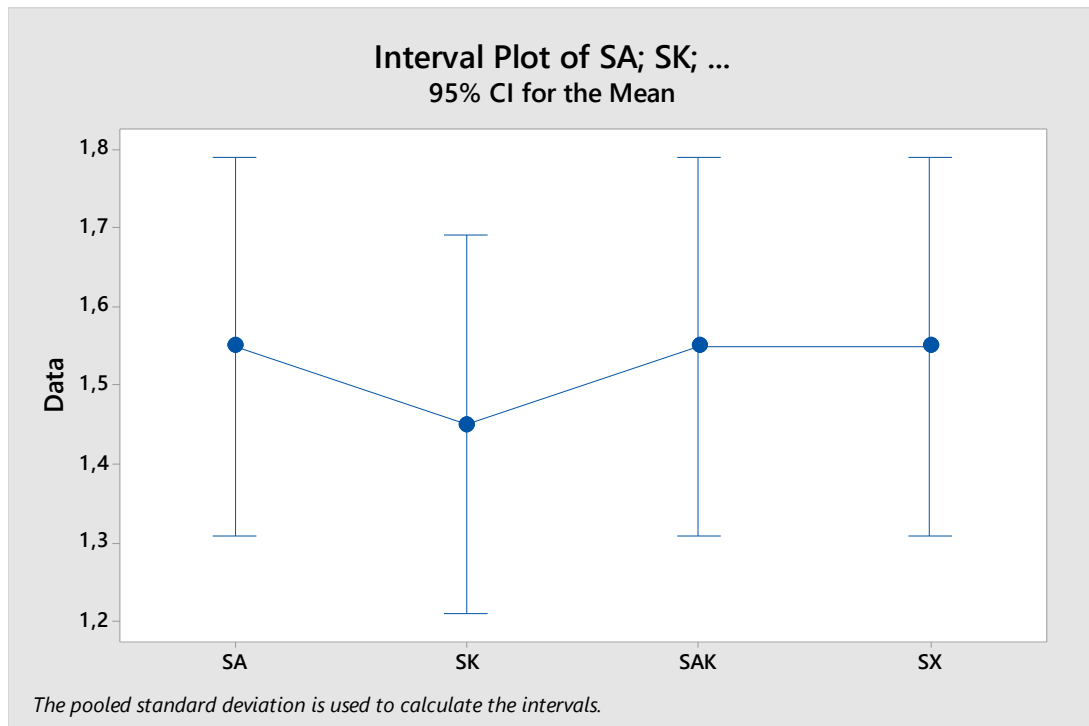
Σχήμα 36: Σύγκριση Dunnnett αμύλου με βελτιωτικά ροής με άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



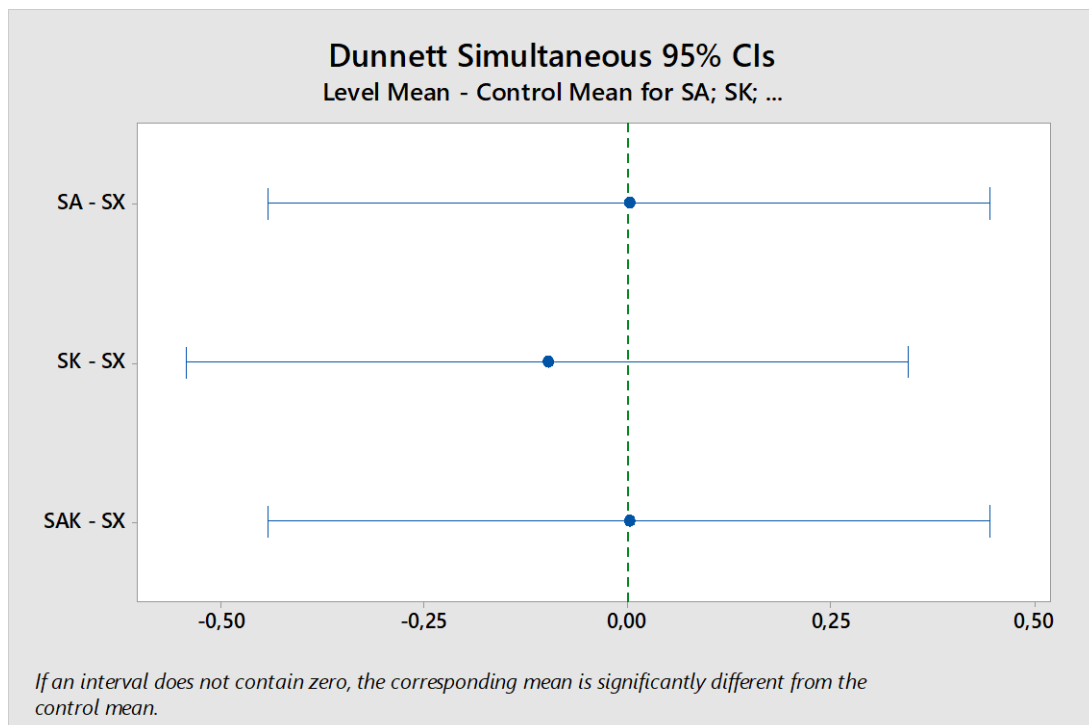
Σχήμα 37: IntervalPlotσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



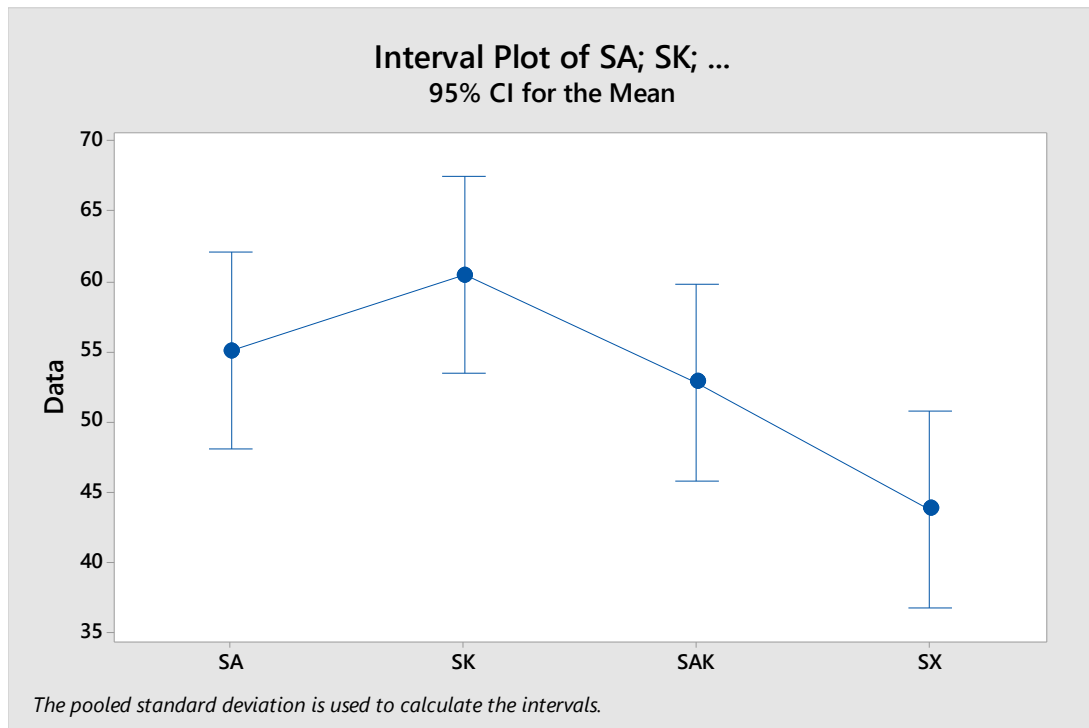
Σχήμα 38: Σύγκριση Dunnettσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



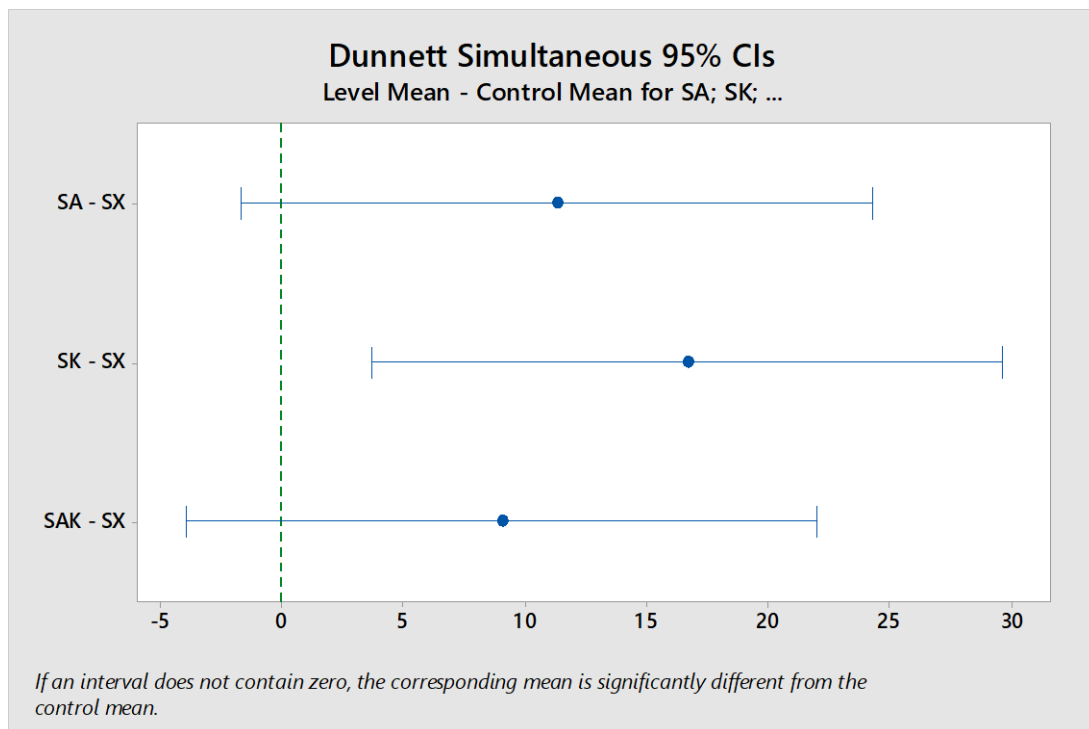
Σχήμα 39: IntervalPlotσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



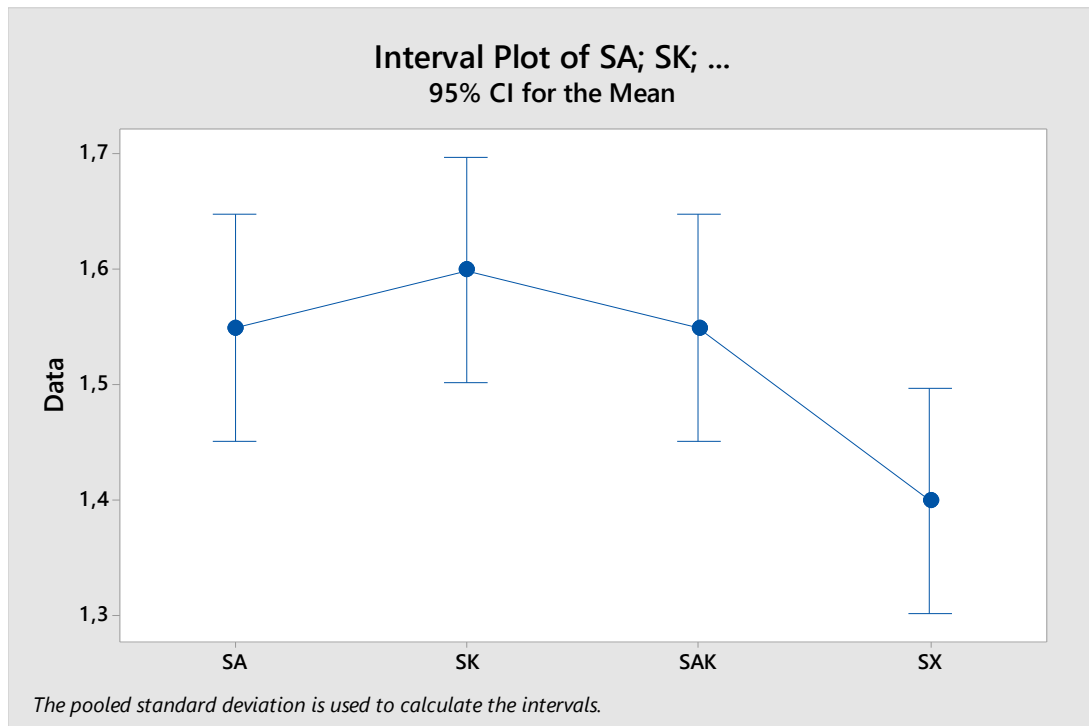
Σχήμα 40: Σύγκριση Dunnettσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής πριν την ξήρανση



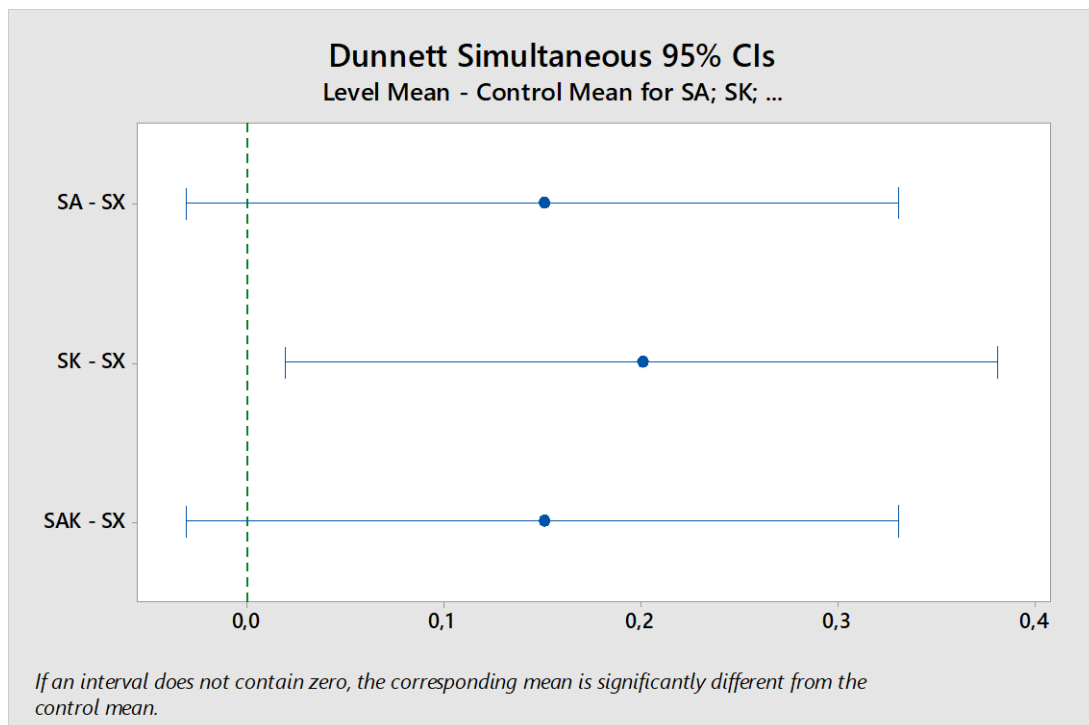
Σχήμα 41: IntervalPlotσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



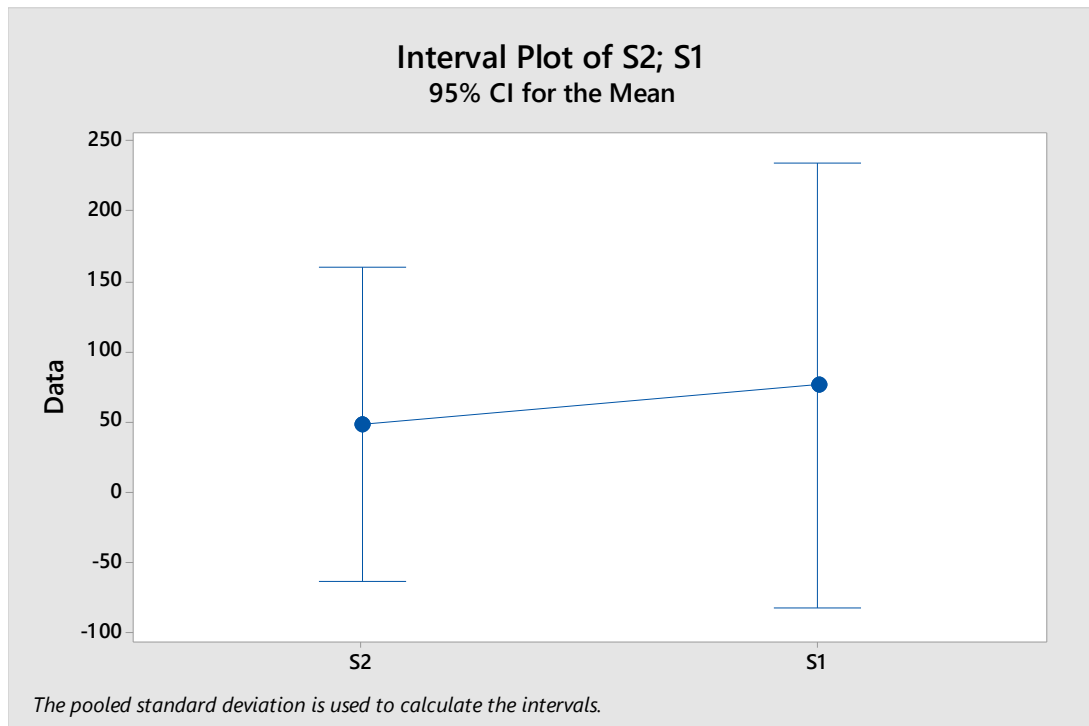
Σχήμα 42: Σύγκριση Dunnettσυμπλοκοποιημένου αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο με βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



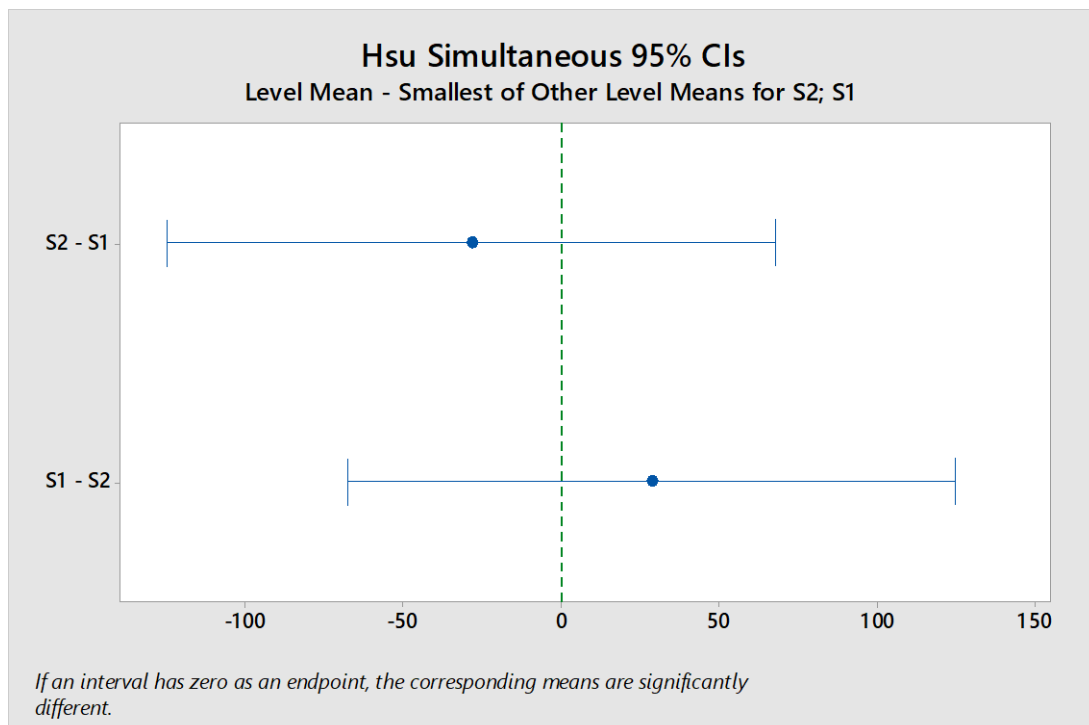
Σχήμα 43: IntervalPlotσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



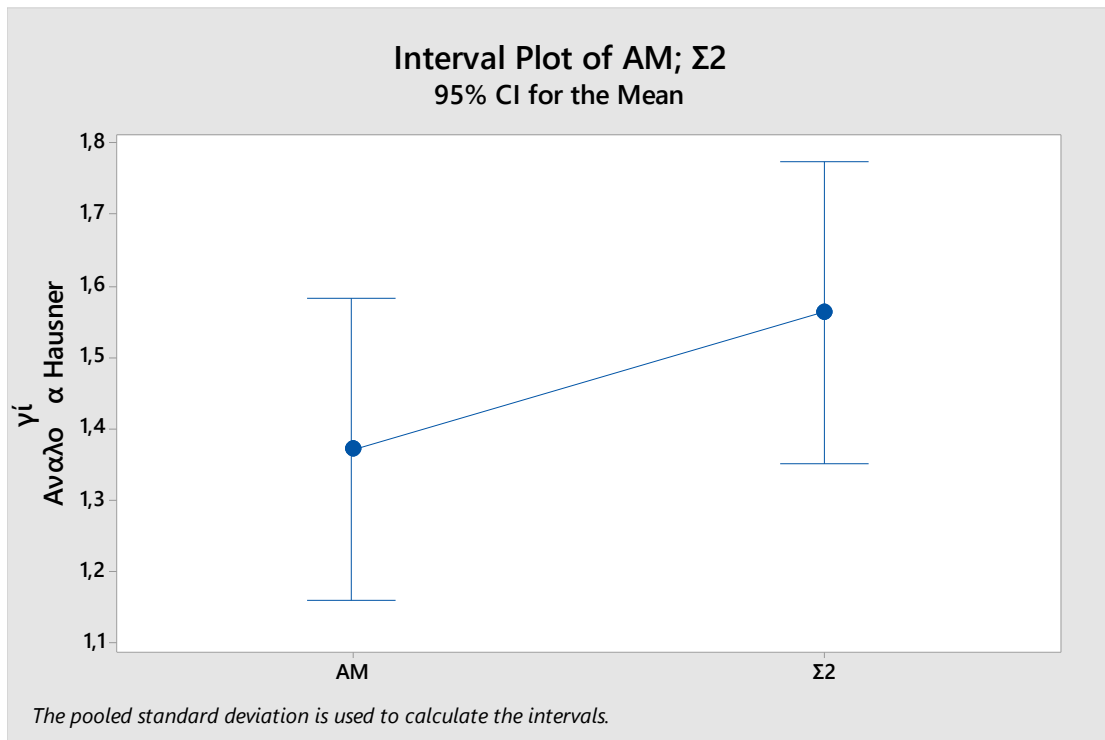
Σχήμα 44: Σύγκριση Dunnettσυμπλοκοποιημένου αμύλου με βελτιωτικά ροής με συμπλοκοποιημένο άμυλο χωρίς βελτιωτικά ροής μετά την ξήρανση



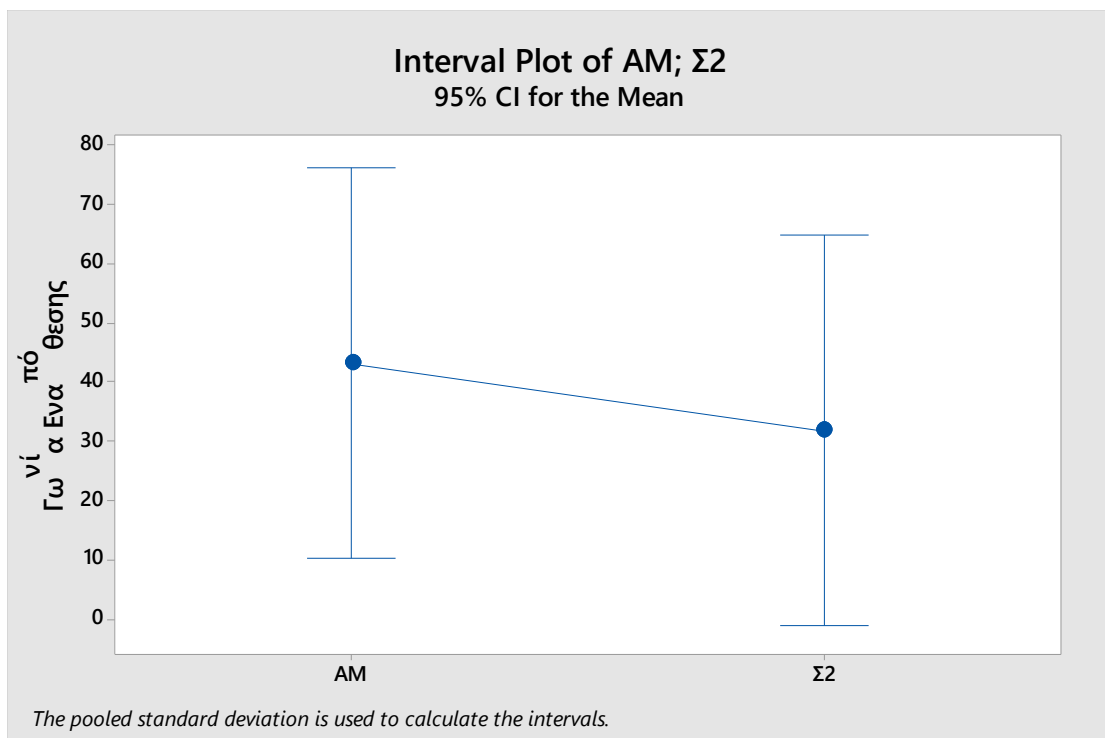
Σχήμα 45: IntervalPlot συμπλοκοποιημένου αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο με υψηλή υγρασία



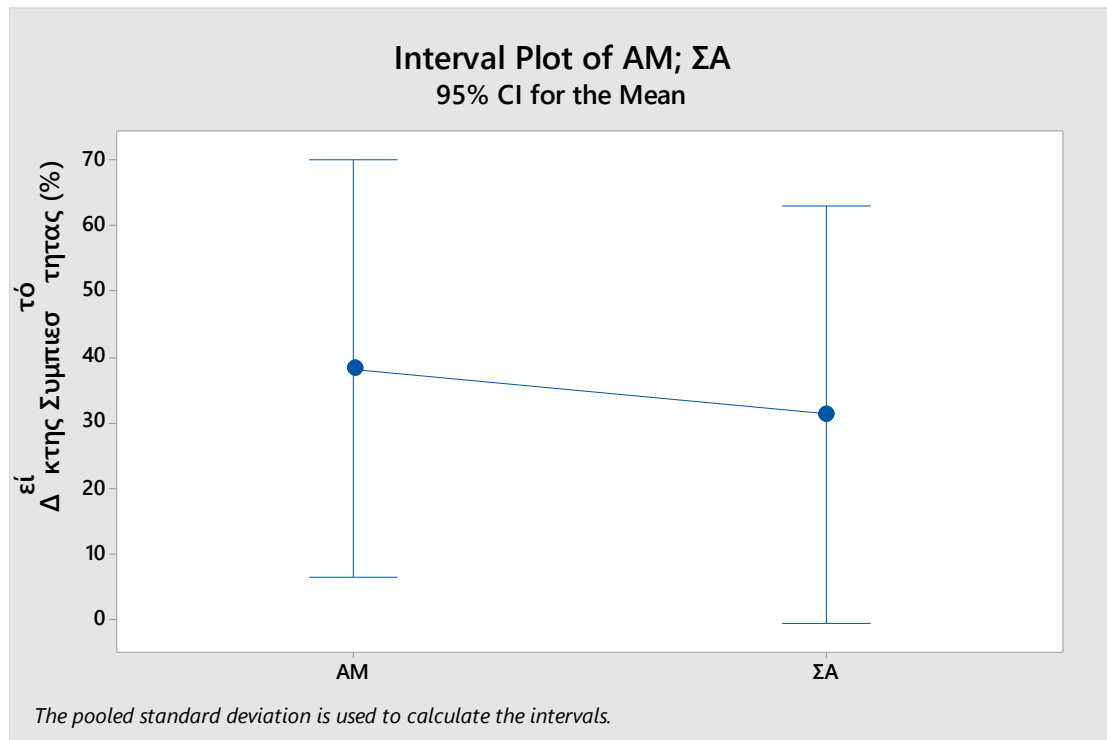
Σχήμα 46: Σύγκριση συμπλοκοποιημένου αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο με υψηλή υγρασία



Σχήμα 47: IntervalPlot αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο (Αναλογία Hausner)



Σχήμα 48: IntervalPlot αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο (Γωνία Εναπόθεσης)



Σχήμα 48: IntervalPlot αμύλου με συμπλοκοποιημένο άμυλο (Δείκτης Συμπίεστος %)