



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΧΥΛΙΣΕΩΝ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ ΟΞΕΩΣ ΑΠΟ ΦΛΟΥΔΕΣ ΑΧΛΑΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ
ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ»**

**«OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUNDS AND ASCORBIC ACID
EXTRACTIONS FROM PEAR SKINS AND EVALUATION OF THEIR
ANTIOXIDANT CAPACITY »**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΜΠΕΝΤΟΥΛΛΑ ΤΖΕΝΙ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΛΑΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2024



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η *Pyrus communis* είναι η πλέον διαδεδομένη ποικιλία αχλαδιού σε καλλιέργεια και κατανάλωση στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Στην Ελλάδα το φρούτο αυτό αποτελεί βασικό κομμάτι της διατροφής από αρχαίων χρόνων και εξ αυτού αποκαλείται και "Δώρο των Θεών". Με δεδομένη την εκτενή χρήση αυτού του φρούτου στην βιομηχανία και την έμφαση που δίνεται στην αξιοποίηση παραγόμενων υποπροϊόντων στη δημιουργία νέων τροφίμων και ποτών, η παρούσα μελέτη είχε ως στόχο την ενίσχυση της αντιοξειδωτικής δράσης της φλούδας του *Pyrus communis*, εφαρμόζοντας ένα σύστημα εκχύλισης πολλαπλών παραγόντων. Αυξημένη συγκέντρωση συνολικών πολυφαινολών και ασκορβικού οξέος και ενισχυμένη αντιοξειδωτική δράση μέσω της εξουδετέρωσης ελεύθερων ριζών και αναγωγής του Fe^{3+} σε Fe^{2+} , συμβάλλουν στο να ενισχυθούν τα οφέλη των εκχυλισμάτων για την υγεία. Ο προσδιορισμός των πολυφαινολικών ενώσεων πραγματοποιήθηκε με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC) σε συνδυασμό με ανιχνευτή συστοιχίας διόδων (DAD). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι άριστες συνθήκες για τις αποδόσεις ενώσεων ήταν συγκέντρωση υδροαιθανόλης 75% ο/ο, θερμοκρασία εκχύλισης 80°C και χρόνος εκχύλισης 30 λεπτά. Υπό τις βέλτιστες συνθήκες, η συγκέντρωση συνολικών πολυφαινολών έφτασε έως και τα 4,98 χλστγρ. ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (GAE)/γραμ. ξηρού βάρους (ξβ). Με τη μέθοδο DPPH η εξουδετέρωση ελεύθερων ριζών εκφράστηκε ως 18,36 μmol ισοδυνάμων ασκορβικού οξέος (AAE)/γραμ. ξηρού βάρους, ενώ με τη μέθοδο FRAP ως 35,09 μmol AAE/ γραμ. ξηρού βάρους. Τέλος, η ποσότητα ασκορβικού οξέος μετρήθηκε στα 20,16 χλστγρ./100 γραμ. ξηρού βάρους. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα μελέτη διεξήχθη για να αξιολογήσει και να ενισχύσει το επίπεδο αυτών των βιοδραστικών ενώσεων στο εκχύλισμα της φλούδας του *Pyrus communis*, με στόχο τη δημιουργία ενός εκχυλίσματος με πολλαπλές εφαρμογές στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών.



Πίνακας περιεχομένων

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1Πολυφαινόλες	5
1.1.1Γενικές Πληροφορίες.....	5
1.1.2 Αξία των πολυφαινολών στην υγεία των καταναλωτών	8
1.2 Ασκορβικό οξύ (Vitamin C)	11
1.2.1 Γενικές Πληροφορίες.....	11
1.2.2 Αξία της βιταμίνης C στην υγεία των καταναλωτών	12
1.3 Ελεύθερες ρίζες.....	15
1.4 Αχλάδι	16
1.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά αχλαδιού	16
1.4.2 Θρεπτικά χαρακτηριστικά αχλαδιού	18
1.5 Φλούδα αχλαδιού	19
1.5.1 Θρεπτικά χαρακτηριστικά της φλούδας αχλαδιού	19
1.5.2 Οικονομικός και οικολογικός αντίκτυπος της απόρριψης των φλουδών αχλαδιού.....	20
1.5.3 Νέοι τρόποι αξιοποίησης της φλούδας αχλαδιού	22
1.6 Στόχος-Σκοπός	27
2.Υλικά και μέθοδοι.....	27
2.1. Διαλύτες και Χημικές Ουσίες.....	27
2.2. Συλλογή και Επεξεργασία των Αχλαδιών	27
2.3. Όργανα και Εξοπλισμός	28
2.4. Μέθοδος Εκχύλισης	28
2.5. Μελέτη Βελτιστοποιημένης Εκχύλισης με Χρήση της Μεθοδολογίας Αποκριτικής Επιφάνειας (RSM)	29
2.6. Αξιολόγηση Βιοδραστικών Ενώσεων και Αντιοξειδωτικής Ικανότητας	29
2.7. Προσδιορισμός Μεμονωμένων Πολυφαινολών.....	31
2.8. Στατιστική Ανάλυση και Επεξεργασία.....	31
3.Αποτελέσματα και συζήτηση	32
3.1 . Συγκέντρωση Βιοδραστικών Ενώσεων και Αντιοξειδωτική Ικανότητα των Εκχυλισμάτων	32
3.2 . Μελέτη της Επίπτωσης Συνδυασμών των Παραμέτρων Εκχύλισης μέσω Ανάλυσης Διαγραμμάτων Pareto.....	35



3.3 Βέλτιστες Συνθήκες Εκχύλισης.....	36
3.4 . Αναλύσεις Συσχέτισης	38
3.5. Βέλτιστες Συνθήκες Εκχύλισης μέσω Ανάλυσης Μερικών Ελαχίστων Τετραγώνων (PLS)	40
4. Συμπεράσματα.....	44
Βιβλιογραφία	45



1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1Πολυφαινόλες

1.1.1Γενικές Πληροφορίες

Οι πολυφαινόλες είναι μια κατηγορία χημικών ενώσεων που περιλαμβάνουν πολλαπλές φαιολικές ομάδες. Αυτές οι ενώσεις είναι γνωστές για τις πολύπλοκες δομές τους και την ικανότητά τους να επηρεάζουν διάφορες βιολογικές διαδικασίες (Williamson, 2017).

Οι πολυφαινόλες παράγονται από τα φυτά ως μηχανισμοί άμυνας ενάντια σε παράγοντες όπως η ακτινοβολία UV και η επίθεση από παθογόνα. Οι πολυφαινόλες επίσης συμβάλλουν στη γεύση, τον χρωματισμό και τη διατήρηση των φυτών, καθιστώντας τα ελκυστικά και θρεπτικά. Η παρουσία τους στα φυτά και γενικά, τα προϊόντα φυτικής προέλευσης προσδίδει συχνά πολύτιμες οργανοληπτικές ιδιότητες, όπως την πικρή γεύση, το έντονο χρώμα κ.α. (Abbas et al., 2017).

Οι πολυφαινόλες κατατάσσονται σε διάφορες υποκατηγορίες με βάση τη χημική τους δομή και τις ιδιότητές τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές κατηγορίες πολυφαινολών.

1.1.1.1 Φλαβονοειδή

Τα φλαβονοειδή αποτελούν μία μεγάλη και σημαντική κατηγορία των πολυφαινολών, με πολλές υποκατηγορίες όπως οι φλαβόνες, οι φλαβανόλες, οι ανθοκυανίνες κ.α. Κάθε υποκατηγορία έχει διαφορετικά βιοχημικά χαρακτηριστικά. Τα φλαβονοειδή βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία σε διάφορες τροφές πλούσιες σε φυτοχημικά συστατικά, όπως φρούτα, λαχανικά, τσάι, σοκολάτα. Για παράδειγμα, οι φλαβόνες βρίσκονται κυρίως σε τρόφιμα όπως το σέλινο, τα μήλα και τα πετροσέλινα, ενώ οι φλαβανόλες είναι πολύ συνηθισμένες στο τσάι και στη μαύρη σοκολάτα (Yáñez et al., 2012).

1.1.1.2 Τανίνες

Οι τανίνες είναι μια κατηγορία πολυφαινολών με πολύπλοκη δομή και υψηλό μοριακό βάρος. Είναι γνωστές για την ικανότητά τους να συσσωρεύουν πρωτεΐνες και άλλες μακρομοριακές



ενώσεις (Okuda & Ito, 2011). Αυτό το χαρακτηριστικό τους, παίζει κρίσιμο ρόλο στις διάφορες εφαρμογές τους, τόσο στη φύση όσο και στη βιομηχανία.

Οι τανίνες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τη χημική τους δομή: τις υδρολυόμενες τανίνες και τις συμπυκνωμένες τανίνες. Οι υδρολυόμενες τανίνες μπορούν, με την επίδραση ενζύμων ή οξέων, να διασπαστούν σε απλούστερα μόρια, ενώ αντίστοιχα οι συμπυκνωμένες τανίνες οδηγούν σε αδιάλυτα σύμπλοκα προϊόντα (Okuda & Ito, 2011). Αυτές οι δομικές διαφορές δίνουν στις τανίνες ποικιλία στη λειτουργία και στη χρήση.

Στα φυτά, οι τανίνες λειτουργούν συχνά ως φυσικοί αμυντικοί μηχανισμοί ενάντια σε ζώα και μικροοργανισμούς, καθώς η ικανότητά τους να συνδέουν πρωτεΐνες μπορεί να καταστήσει τα φυτά λιγότερο προσιτά ή δυσάρεστα στη γεύση. Επίσης, προστατεύουν τα φυτά από τις παθογένειες λόγω της αντιμικροβιακής τους δράσης. Στη βιομηχανία, οι τανίνες έχουν πολλαπλές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται στην παρασκευή δερμάτινων προϊόντων, και ειδικότερα, για την δέψη του δέρματος, μια διαδικασία που σταθεροποιεί το κολλαγόνο του δέρματος για να το καταστήσει λιγότερο διαλυτό στο νερό και πιο ανθεκτικό. Επίσης, στην παρασκευή τροφίμων και ποτών, όπως το κρασί και το τσάι, οι τανίνες συμβάλλουν στη γεύση και στη συνοχή του τελικού προϊόντος. Γενικά, οι τανίνες είναι γνωστές για την προσθήκη πικρών και τραχιών γευστικών ιδιοτήτων (Abbas et al., 2017). Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στο κρασί, όπου οι τανίνες συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα, στη δομή και στην ικανότητα παλαίωσης του κρασιού.

1.1.1.3 Ανθοκυανίνες

Οι ανθοκυανίνες είναι μια υποκατηγορία των φλαβονοειδών και είναι οι βασικές ουσίες που δίνουν τα χαρακτηριστικά κόκκινα, μπλε και μοβ χρώματα σε πολλά φρούτα, λαχανικά και λουλούδια. Αυτή η ιδιότητα καθιστά τις ανθοκυανίνες δημοφιλείς ως φυσικές χρωστικές ουσίες σε τρόφιμα και ποτά. Αυτές οι πολυφαινολικές ενώσεις είναι γνωστές επίσης για την αντιοξειδωτική τους δράση (Li et al., 2017).

Οι ανθοκυανίνες βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες σε τροφές όπως μούρα (βατόμουρα, σμέουρα), κεράσια, σταφύλια, κράνμπερι, καθώς και σε πολλά άλλα φρούτα και λαχανικά που έχουν έντονο κόκκινο, μπλε ή μοβ χρώμα. Επίσης, ανθοκυανίνες υπάρχουν σε ορισμένα φύλλα και στελέχη, δίνοντας τα χαρακτηριστικά χρώματα στα φυτά ειδικά κατά την φθινοπωρινή περίοδο. Οι χρωματικές ιδιότητες των ανθοκυανίνων εξαρτώνται από το περιβάλλον, καθώς ανάλογα με το pH του μπορούν να εμφανίσουν διάφορα χρώματα (Martinotti et al., 2021). Για



παράδειγμα, σε όξινο pH μπορεί να είναι κόκκινες, ενώ σε αλκαλικό περιβάλλον μπλε ή μοβ. Οι ανθοκυανίνες παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία των φυτών από τις υπεριώδεις ακτίνες και συμβάλλουν στον προσανατολισμό των επικονιαστών, καθώς τα έντονα χρώματα των ανθών και των καρπών μπορεί να προσελκύουν επικονιαστές όπως τα έντομα (Li et al., 2017).

1.1.1.4 Λιγνάνες

Μια ακόμα κατηγορία πολυφαινολών είναι οι λιγνάνες, που είναι γνωστές για τις βιολογικές τους δράσεις. Χημικά, οι λιγνάνες συγκαταλέγονται στους διφαινολικούς μεταβολίτες, που σημαίνει ότι η δομή τους αποτελείται από δύο συνδεδεμένες φαινολικές μονάδες. Η δομή αυτή τους δίνει την ικανότητα να δεσμεύουν και να αλληλεπιδρούν με άλλα μόρια, όπως ορμόνες ή πρωτεΐνες (Soleymani et al., 2020). Βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στα σπέρματα ορισμένων φυτών, με το λιναρόσπορο να είναι η πλουσιότερη πηγή. Βρίσκονται επίσης σε τρόφιμα όπως σόγια, σουσάμι, ορισμένα καρύδια και δημητριακά ολικής άλεσης, καθώς και σε ορισμένα φρούτα και λαχανικά σε μικρότερες ποσότητες (Rodríguez-García et al., 2019).

Οι λιγνάνες συνθέτονται από τα φυτά ως μέρος του μεταβολισμού τους και ανήκουν στην ευρύτερη ομάδα των φαινυλοπροπανοειδών. Στα φυτά, οι λιγνάνες μπορούν να λειτουργήσουν ως αντιμικροβιακοί παράγοντες ή να συμβάλλουν στην προστασία τους (Jenkins, Kendall & Sievenpiper, 2021). Στον άνθρωπο, οι λιγνάνες έχουν αναγνωριστεί για τη δυνατότητά τους να μιμούνται ή να επηρεάζουν τη δράση ορισμένων ορμονών, ιδίως των οιστρογόνων, και γι' αυτό συχνά αναφέρονται ως φυτοοιστρογόνα (Soleymani et al., 2020).

1.1.1.5 Ισοφλαβονοειδή

Τα ισοφλαβονοειδή αποτελούν μια σημαντική υποκατηγορία των φλαβονοειδών που βρίσκεται κυρίως στα φυτά της οικογένειας των ψυχανθών. Η σόγια είναι ίσως η πιο γνωστή πηγή ισοφλαβονοειδών. Άλλες πηγές περιλαμβάνουν το κόκκινο τριφύλλι, κάποια σπόρια, ξηρούς καρπούς κ.α. (Barnes et al., 2011).

Αυτές οι ενώσεις έχουν προσελκύσει ενδιαφέρον λόγω της χημικής τους δομής και των βιολογικών τους δράσεων, ιδιαίτερα σε σχέση με την ορμονική τους δραστηριότητα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα ισοφλαβονοειδή διαθέτουν μια πολύ συγκεκριμένη χημική δομή που τους δίνει μοναδικές ιδιότητες και την ικανότητα να μιμούνται τη δράση των οιστρογόνων.



Συγκεκριμένα, έχουν την ιδιότητα να λειτουργούν ως φυτοοιστρογόνα. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να δεσμεύσουν τους οιστρογονικούς υποδοχείς στο ανθρώπινο σώμα και να επιφέρουν ήπια οιστρογονικές ή αντι-οιστρογονικές δράσεις, ανάλογα με την ορμονική κατάσταση του οργανισμού (Umeno et al., 2016). Αυτή η ικανότητα, καθιστά τα ισοφλαβονοειδή αντικείμενο μελέτης για την επίδρασή τους σε ορμονικά ευαίσθητες καταστάσεις, όπως η εμμηνόπαυση και ορισμένες μορφές καρκίνου. Εκτός από την οιστρογονική δράση, τα ισοφλαβονοειδή έχουν επίσης αντιοξειδωτική δράση, μπορούν να επηρεάσουν τον μεταβολισμό των λιπιδίων και της γλυκόζης, ενώ μπορεί να παρέχουν προστασία από ορισμένες χρόνιες παθήσεις (Umeno et al., 2016).

1.1.2 Αξία των πολυφαινόλων στην υγεία των καταναλωτών

Οι πολυφαινόλες αναγνωρίζονται ολοένα και περισσότερο για την συμβολή τους στην προαγωγή της υγείας. Με τις αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις, καρδιοπροστατευτικές και αντικαρκινικές τους ιδιότητες, οι πολυφαινόλες προσφέρουν μια σειρά από οφέλη που μπορεί να συμβάλουν στη μακροζωία και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η ενεργή τους δράση στη μείωση του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής, καθώς και η προστασία που παρέχουν απέναντι στην ανάπτυξη χρόνιων ασθενειών, καθιστούν τις πολυφαινόλες κεντρικό συστατικό μιας ισορροπημένης διατροφής (Rana et al., 2022).

1.1.2.1 Αντιοξειδωτική δράση

Η αντιοξειδωτική δράση των πολυφαινόλων αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά στοιχεία της αξίας τους στην υγεία των καταναλωτών, προσφέροντας μια φυσική άμυνα ενάντια σε διάφορες μορφές βλάβης (Obrenovich et al., 2010).

Αναλυτικότερα, οι πολυφαινόλες μπορούν να παγιδεύουν τις ελεύθερες ρίζες, απομακρύνοντας τα επιθετικά αυτά μόρια που προκαλούν οξειδωτική βλάβη στα κύτταρα, το DNA, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια. Αυτή η δράση συμβάλλει στην προστασία των κυττάρων και στην πρόληψη πολλών χρόνιων παθήσεων. Παράλληλα, έχουν την ικανότητα να συνδέονται με μεταλλικά ιόντα που μπορεί να καταλύσουν την παραγωγή ελεύθερων ριζών, μειώνοντας έτσι την οξειδωτική τους δράση. Κάποιες πολυφαινόλες μπορούν να αναστείλουν τη δράση ενζύμων που παράγουν ελεύθερες ρίζες, όπως η οξειδάση της ξανθίνης και του NADPH, περιορίζοντας περαιτέρω την οξειδωτική βλάβη (Chiva-Blanch & Visioli, 2012).



Η αντιοξειδωτική δράση των πολυφαινολών προστατεύει από ασθένειες όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, οι νευρολογικές διαταραχές, ο διαβήτης, και κάποιες μορφές καρκίνου. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της πρόωρης γήρανσης και στη βελτίωση της υγείας του δέρματος, μέσω της μείωσης της οξειδωτικής βλάβης από την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Obrenovich et al., 2010).

1.1.2.2 Αντιφλεγμονώδης δράση

Ακόμα μια σημαντική ιδιότητα των πολυφαινολών είναι η αντιφλεγμονώδης δράση τους. Οι φλεγμονές είναι μια φυσιολογική αντίδραση του ανοσοποιητικού συστήματος σε βλάβες ή επιβλαβή παθογόνα, αλλά όταν αυτή η αντίδραση γίνεται χρόνια ή εκτείνεται πέραν του απαραίτητου, μπορεί να προκαλέσει ή να επιδεινώσει πολλές παθήσεις (Zhang & Tsao, 2016).

Πολλές πολυφαινόλες δρουν αναστέλλοντας τη δράση ενζύμων που προάγουν τη φλεγμονή, όπως η κυκλοοξυγενάση (COX) και η λιποξυγενάση (LOX). Η κουρκουμίνη, η ρεσβερατρόλη κ.α., έχουν ισχυρή δράση κατά αυτών των ενζύμων. Επίσης, οι πολυφαινόλες μπορούν να μειώσουν την παραγωγή προ-φλεγμονωδών κυτοκινών, όπως το TNF-α και τα IL-1β, IL-6, ενώ προστατεύουν και από το οξειδωτικό στρες, βοηθώντας στη μείωση της φλεγμονής και προστατεύοντας τα κύτταρα (Yahfoufi et al., 2018).

Η αντιφλεγμονώδης δράση των πολυφαινολών έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία, παρέχοντας προστασία από πολλές χρόνιες παθήσεις που σχετίζονται με φλεγμονή, όπως καρδιαγγειακές νόσους, διαβήτη τύπου 2, κάποιες μορφές καρκίνου και αυτοάνοσες διαταραχές (Zhang & Tsao, 2016).

1.1.2.3 Προστασία καρδιαγγειακού συστήματος

Η καρδιαγγειακή προστασία που παρέχουν οι πολυφαινόλες αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο της αξίας τους στην υγεία των καταναλωτών. Αυτές οι φυτικές ενώσεις συνδέονται με μείωση του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων μέσα από διάφορους μηχανισμούς, ενισχύοντας την υγεία των αγγείων, την καρδιακή λειτουργία και τη συνολική αγγειακή ακεραιότητα (Khurana et al., 2013).

Οι πολυφαινόλες, ως αντιοξειδωτικά, μπορούν να μειώσουν την οξειδωτική βλάβη στα αιμοφόρα αγγεία. Μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών, όπως τη C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP) και άλλους παράγοντες που ενεργοποιούν τη φλεγμονή στα αγγεία.



Το οξειδωτικό στρες παίζει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη της αθηροσκλήρωσης, μια κατάσταση που σχετίζεται με τη συσσώρευση λιπιδίων και φλεγμονωδών κυττάρων στα τοιχώματα των αρτηριών, οδηγώντας σε στένωση και σκλήρυνση των αγγείων. Ακόμη, οι πολυφαινόλες βοηθούν στην ενίσχυση της δράσης του ενδοθηλίου, της εσωτερικής επένδυσης των αγγείων, που παίζει ζωτικό ρόλο στη ρύθμιση της αγγειακής λειτουργίας. Επιπλέον, μπορούν να βελτιώσουν το λιπιδαιμικό προφίλ, μειώνοντας τα επίπεδα της "κακής" χοληστερόλης (LDL) και αυξάνοντας την "καλή" χοληστερόλη (HDL). Έτσι, μπορεί να περιοριστεί ο κίνδυνος λιπιδιακής συσσώρευσης στα αγγεία και να μειωθεί η πιθανότητα ανάπτυξης αθηροσκληρωτικών πλακών. Τέλος, οι πολυφαινόλες συμβάλλουν στη μείωση της αιμοπεταλιακής συσσώρευσης και της έκκρισης παραγόντων πήξης, μειώνοντας τον κίνδυνο ανάπτυξης αιματικών θρόμβων που μπορούν να οδηγήσουν σε εμφράγματα και εγκεφαλικά επεισόδια (Murillo & Fernandez, 2017).

1.1.2.4 Προστασία νευρικού συστήματος

Η προστασία του νευρικού συστήματος που παρέχουν οι πολυφαινόλες είναι ένας ακόμα σημαντικός τομέας όπου αυτές οι φυτικές ενώσεις συνεισφέρουν στην υγεία των καταναλωτών. Οι πολυφαινόλες έχουν προστατευτική δράση στον εγκέφαλο και το ευρύτερο νευρικό σύστημα μέσω διάφορων μηχανισμών, βοηθώντας στην πρόληψη ή την επιβράδυνση της εξέλιξης νευρολογικών διαταραχών, όπως η νόσος Alzheimer και η νόσος Parkinson, που σχετίζονται με χρόνια εγκεφαλική φλεγμονή (Bruno & Ghiadoni, 2018).

Ειδικότερα, οι πολυφαινόλες φαίνεται να ενισχύουν τη νευροπροστασία και τη νευροπλαστικότητα, δηλαδή την ικανότητα του εγκεφάλου να προσαρμόζεται και να αναπλάθεται αποτελεσματικά ως απάντηση σε νέες εμπειρίες, πληροφορίες κλπ. Ειδικότερα, ορισμένες πολυφαινόλες, όπως οι ανθοκυανίνες και τα φλαβονοειδή, μπορούν να διεγείρουν τις διαδικασίες που εμπλέκονται στη δημιουργία νέων νευρικών συνδέσεων και να ενισχύσουν την επιβίωση των νευρώνων. Ακόμη, μέσω της ενίσχυσης των διαδικασιών που σχετίζονται με την μάθηση και τη μνήμη, μπορούν να βελτιώσουν τη μνήμη και τις νοητικές δυνατότητες (Spagnuolo et al., 2016). Χάρη στις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές τους, οι πολυφαινόλες, μπορούν να αναστείλουν τους μηχανισμούς που προκαλούν φλεγμονή στον εγκέφαλο, μειώνοντας τα επίπεδα φλεγμονωδών κυτοκινών και την ενεργοποίηση των μικρογλοιοκυττάρων, τα οποία είναι τα κύρια φλεγμονώδη κύτταρα του κεντρικού νευρικού συστήματος. Επίσης, δεδομένου ότι το οξειδωτικό στρες συνδέεται με νευρολογικές παθήσεις



και γήρανση, οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες των πολυφαινολών αποτρέπουν την οξειδωτική βλάβη εντός των νευρικών κυττάρων, παρέχοντας προστασία από τις επιβλαβείς επιδράσεις της υπερβολικής παραγωγής ελεύθερων ριζών και προάγοντας την υγεία και την λειτουργία του εγκεφάλου (Bruno & Ghiadoni, 2018).

1.1.2.5 Αντικαρκινική δράση

Η αντικαρκινική δράση των πολυφαινολών συνδέεται με την πρόληψη και την επιβράδυνση της εξέλιξης διαφόρων τύπων καρκίνου, συμπεριλαμβανομένων του καρκίνου του μαστού, του προστάτη, του εντέρου και του δέρματος (Abdal Dayem et al., 2016).

Οι πολυφαινόλες είναι ισχυρά αντιοξειδωτικά που παρέχουν προστασία κατά της οξειδωτικής βλάβης του DNA, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε γενετικές μεταλλάξεις και καρκίνο. Αναστέλλοντας την παραγωγή ελεύθερων ριζών, μειώνουν την πιθανότητα καρκινογένεσης. Επίσης, μπορούν να επηρεάσουν τον κυτταρικό κύκλο των καρκινικών κυττάρων, αναστέλλοντας τον πολλαπλασιασμό τους και προάγοντας την απόπτωση (προγραμματισμένο κυτταρικό θάνατο). Ενώσεις όπως η κουρκουμίνη και η ρεσβερατρόλη έχουν την ικανότητα να ενεργοποιούν μονοπάτια σήματος που οδηγούν σε απόπτωση καρκινικών κυττάρων. Η αγγειογένεση είναι η διαδικασία δημιουργίας νέων αιμοφόρων αγγείων, που είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη και την επιβίωση των όγκων. Πολλές πολυφαινόλες αναστέλλουν την αγγειογένεση, περιορίζοντας έτσι τη δυνατότητα των όγκων να μεγαλώσουν. Καθώς η φλεγμονή συχνά συμβάλλει στην προαγωγή και εξέλιξη του καρκίνου, οι αντι-φλεγμονώδεις ιδιότητες των πολυφαινολών μπορούν να παρέχουν προστασία. Με την αναστολή παραγόντων φλεγμονής όπως το NF-kB και διάφορες κυτοκίνες, μειώνουν τη φλεγμονή στο μικροπεριβάλλον του όγκου (Moein, 2015).

1.2 Ασκορβικό οξύ (Vitamin C)

1.2.1 Γενικές Πληροφορίες

Το ασκορβικό οξύ, πιο γνωστό ως βιταμίνη C, είναι μία υδατοδιαλυτή βιταμίνη που δεν μπορεί να συνθέσει ο ανθρώπινος οργανισμός και πρέπει να λαμβάνεται μέσω της διατροφής.

Οι κύριες πηγές βιταμίνης C είναι:



- Φρούτα και λαχανικά: Η βιταμίνη C βρίσκεται κυρίως σε φρούτα και λαχανικά. Πλούσιες πηγές αποτελούν τα εσπεριδοειδή, όπως τα πορτοκάλια, τα λεμόνια, τα γκρέιπφρουτ και τα μανταρίνια, και άλλα φρούτα όπως οι φράουλες, τα βατόμουρα, τα ακτινίδια, ο ανανάς, τα μάνγκο και το πεπόνι. Στα λαχανικά, η βιταμίνη C βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα μπρόκολα, το λάχανο, το κουνουπίδι, το κόκκινο και πράσινο πιπέρι και το σπανάκι.
- Βότανα και άλλες πηγές: Πλούσιες πηγές βιταμίνης C είναι επίσης ο μαϊντανός, ο άνηθος, τα φύλλα του κοριάνδρου, το θυμάρι και άλλα φρέσκα βότανα (Fenech et al., 2019).
- Εμπλουτισμένα τρόφιμα: Πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα και ποτά, όπως δημητριακά πρωινού, φρουτοχυμοί και ποτά σόγιας, είναι εμπλουτισμένα με βιταμίνη C για να ενισχύσουν τη διατροφική τους αξία.
- Συμπληρώματα: Για όσους δυσκολεύονται να λάβουν επαρκή ποσότητα βιταμίνης C από τη διατροφή τους, διατίθενται διάφορα συμπληρώματα, τόσο σε μορφή χαπιών όσο και σε μορφή σκόνης ή υγρού (Lykkesfeldt & Poulsen, 2010).

Η συνιστώμενη ημερήσια ποσότητα (RDA) για ενήλικες είναι περίπου 65 έως 90 mg την ημέρα, με ένα ανώτατο όριο περίπου 2,000 mg την ημέρα. Πολύ υψηλές δόσεις μπορούν να προκαλέσουν παρενέργειες, όπως πεπτικές διαταραχές ή διάρροια (Quadros, Brandao & Longhi, 2016).

1.2.2 Αξία της βιταμίνης C στην υγεία των καταναλωτών

Η βιταμίνη C είναι μία από τις πιο σημαντικές βιταμίνες για τη διατήρηση της γενικής υγείας και της ευεξίας. Έχει πολλαπλές λειτουργίες στον ανθρώπινο οργανισμό και συνδέεται με μια σειρά από οφέλη για την υγεία.

1.2.2.1 Σύνθεση κολλαγόνου

Η σύνθεση του κολλαγόνου είναι μια κρίσιμη βιολογική διαδικασία που διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διατήρηση της δομής και της αντοχής των συνδετικών ιστών σε όλο το ανθρώπινο σώμα. Το κολλαγόνο είναι μια θεμελιώδης πρωτεΐνη που βρίσκεται στο δέρμα, τα οστά, τους τένοντες, τους χόνδρους και τα αιμοφόρα αγγεία (Lis & Baar, 2019).



Η διαδικασία της κολλαγονογένεσης αρχίζει στο εσωτερικό των κυττάρων που ονομάζονται ινοβλάστες. Το προκολλαγόνο, που είναι η πρόδρομη μορφή του κολλαγόνου, συντίθεται αρχικά μέσα στο κύτταρο ως μια πολυπεπτιδική αλυσίδα με αμινοξέα, όπου η γλυκίνη, η προλίνη και η υδροξυπρολίνη εμφανίζονται συχνά (Doessing et al., 2010). Η βιταμίνη C παίζει εδώ ένα ζωτικό ρόλο, καθώς είναι απαραίτητη για την υδροξυλίωση της προλίνης και της λυσίνης σε υδροξυπρολίνη και υδροξυλυσίνη αντίστοιχα. Τα αμινοξέα αυτά είναι κρίσιμα για τη σταθερότητα και τη σύνθεση της τριπλής έλικας του κολλαγόνου. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει ότι το κολλαγόνο μπορεί να σχηματίσει ισχυρές, ανθεκτικές δομές που υποστηρίζουν την αρχιτεκτονική και την αντοχή των ιστών. Επιπλέον, η βιταμίνη C συμμετέχει στη σύνθεση άλλων σημαντικών συνδετικών στοιχείων, όπως η ελαστίνη και η οστεονεκτίνη, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και την ελαστικότητα των ιστών (Lis & Baar, 2019).

Η σωστή παραγωγή και συντήρηση του κολλαγόνου είναι κρίσιμη για την επούλωση τραυμάτων και την ανάπλαση των ιστών. Η έλλειψη βιταμίνης C μπορεί να οδηγήσει σε αρθρίτιδα, δερματικές διαταραχές και σκορβούτο. Επομένως, η επαρκής πρόσληψη βιταμίνης C είναι ουσιώδης για την πρόληψη αυτών των καταστάσεων και τη διατήρηση της καλής υγείας των συνδετικών ιστών.

1.2.2.2 Αντιοξειδωτική δράση

Ως ισχυρό αντιοξειδωτικό, η βιταμίνη C δρα καταστέλλοντας και αναστέλλοντας τις ελεύθερες ρίζες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική οξειδωτική βλάβη. Αυτή η οξειδωτική βλάβη συνδέεται με την εμφάνιση πολλών χρόνιων ασθενειών, όπως καρδιαγγειακών νόσων, κάποιων μορφών καρκίνου κ.α. Η βιταμίνη C συμβάλλει επίσης στην αναγέννηση άλλων αντιοξειδωτικών, όπως η βιταμίνη E, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση και τη μακροπρόθεσμη αντιοξειδωτική προστασία στα κύτταρα. Αυτή η συνεργατική αντιοξειδωτική δράση βοηθά στην ενίσχυση της κυτταρικής αντοχής ενάντια στο στρες και τη βλάβη που μπορεί να προκαλέσει το οξειδωτικό περιβάλλον (Pehlivan, 2017). Επιπλέον, η βιταμίνη C είναι ιδιαίτερα σημαντική για την υγεία του δέρματος, καθώς βοηθά στην προστασία ενάντια στην ζημιά που προκαλείται από την ακτινοβολία UV και συμβάλλει στην επούλωση των πληγών. Η αντιοξειδωτική της δράση αποτρέπει την πρόωρη φθορά του δέρματος και βοηθά στην διατήρηση της νεανικής εμφάνισης και της ελαστικότητας του δέρματος (Pullar, Carr & Vissers, 2017).



Συνολικά, η αντιοξειδωτική δράση της βιταμίνης C είναι καίρια για την προάσπιση της υγείας σε πολλαπλά επίπεδα, από τη μικροσκοπική κυτταρική προστασία μέχρι την πρόληψη χρόνιων ασθενειών (Pehlivan, 2017).

1.2.2.3 Ενίσχυση ανοσοποιητικής λειτουργίας

Η βιταμίνη C είναι κρίσιμη για την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, παρέχοντας ουσιαστικά όφελη για την υγεία του ανθρώπου. Αυτή η βιταμίνη βοηθά στην προστασία του σώματος από λοιμώξεις και βελτιώνει την δυνατότητα απόκρισης του ανοσοποιητικού συστήματος απέναντι σε παθογόνους οργανισμούς (Cart & Maggini, 2017).

Ειδικότερα, η βιταμίνη C ενεργοποιεί την παραγωγή λευκών αιμοσφαιρίων, τα οποία είναι ζωτικά στοιχεία της ανοσολογικής άμυνας, αυξάνοντας τα επίπεδα των λεμφοκυττάρων και των φαγοκυττάρων, τα οποία μπορούν να απορροφήσουν και να εξοντώσουν τα μικρόβια και τους ιούς. Επίσης, ενισχύει τον επιδερμικό φραγμό, ο οποίος αποτελεί την πρώτη γραμμή άμυνας του σώματος ενάντια σε παθογόνα μικρόβια. Η βιταμίνη C παίζει ρόλο και στην αποτροπή και τη μείωση της διάρκειας αναπνευστικών λοιμώξεων, όπως το κοινό κρυολόγημα. Αν και δεν μπορεί να αποτρέψει πλήρως την εμφάνιση κρυολογήματος, ωστόσο μειώνει τη διάρκειά του και τη σοβαρότητα των συμπτωμάτων (Hemilä & Chalker, 2013).

1.2.2.4 Προστασία από οφθαλμικές παθήσεις

Η βιταμίνη C είναι γνωστή για τη σημαντική της συμβολή στην προστασία της όρασης και την πρόληψη οφθαλμικών παθήσεων, προσφέροντας σημαντικά οφέλη για την υγεία των ματιών. Η αντιοξειδωτική της δράση παίζει κρίσιμο ρόλο στην αποτροπή ή την επιβράδυνση της εξέλιξης πολλών χρόνιων οφθαλμικών παθήσεων (Khoo et al., 2019).

Αναλυτικότερα, η βιταμίνη C προστατεύει τον κρυσταλλοειδή φακό του ματιού από την οξειδωτική βλάβη, η οποία είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη του καταρράκτη. Ο καταρράκτης αναπτύσσεται όταν πρωτεΐνες στον κρυσταλλοειδή αρχίζουν να πυκνώνουν ή να αλλοιώνονται, προκαλώντας θολερή όραση. Η αντιοξειδωτική δράση της βιταμίνης C συμβάλλει στην πρόληψη της οξείδωσης των πρωτεϊνών του κρυσταλλοειδούς, διατηρώντας την διαύγεια του φακού και παρέχοντας μακροπρόθεσμη προστασία. Επιπλέον, μειώνει τον κίνδυνο ανάπτυξης εκφύλισης της ωχράς κηλίδας, μιας κοινής αιτίας τύφλωσης σε ηλικιωμένους. Αυτό το επιτυγχάνει αποτρέποντας την ανάπτυξη παθολογικών νεοαγγείων



(νέων αιμοφόρων αγγείων) και προστατεύοντας τα φωτοευαίσθητα κύτταρα από ζημιές που μπορεί να οδηγήσουν στην εκφύλιση (McCusker et al., 2016).

1.2.2.5 Προστασία από χρόνιες παθήσεις

Χάρη στις αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές της, η βιταμίνη C παρέχει σημαντική προστασία από πολλές χρόνιες παθήσεις. Η βιταμίνη C συμβάλλει στη μείωση της αρτηριοσκλήρυνσης, στην πρόληψη και διαχείριση καρδιαγγειακών παθήσεων, στην αντιμετώπιση της οξειδωτικής βλάβης, ενώ προστατεύει ενάντια σε νευροεκφυλιστικές παθήσεις (π.χ. Alzheimer, Parkinson) (May, 2012). Επιπλέον, επηρεάζει θετικά τη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα και βελτιώνει την αντίσταση στην ινσουλίνη, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ανάπτυξης διαβήτη τύπου 2. Σε άτομα που ήδη πάσχουν από διαβήτη, η βιταμίνη C μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη των διαβητικών επιπλοκών, όπως η βλάβη στα νεφρά και στα αιμοφόρα αγγεία (Sharifi-Rad et al., 2020).

Η πληθώρα των ωφελειών που προσφέρει η βιταμίνη C την καθιστά ένα απαραίτητο συστατικό μιας υγιεινής διατροφής. Η επαρκής πρόσληψή της μέσω των τροφών ή των συμπληρωμάτων μπορεί να βοηθήσει στην προαγωγή της γενικής υγείας και ευεξίας και στην πρόληψη πολλών χρόνιων ασθενειών.

1.3 Ελεύθερες ρίζες

Οι ελεύθερες ρίζες είναι ατομικά ή μοριακά σωματίδια που έχουν ένα ή περισσότερα ασταθή ηλεκτρόνια, κάτι που τα καθιστά ιδιαίτερα αντιδραστικά. Παράγονται φυσιολογικά στο σώμα κατά τη διάρκεια των μεταβολικών διεργασιών ως παραπροϊόντα του μεταβολισμού του οξυγόνου. Αυτές οι χημικές ουσίες παράγονται συνήθως σε ελεγχόμενα επίπεδα και είναι απαραίτητες για την ενεργοποίηση ορισμένων κυτταρικών διαδικασιών. Οι ελεύθερες ρίζες μπορούν επίσης να παραχθούν μέσω εξωγενών πηγών όπως η ρύπανση, η υπεριώδης ακτινοβολία, το κάπνισμα και η έκθεση σε ορισμένες χημικές ουσίες. Η έκθεση σε αυτούς τους παράγοντες μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ελεύθερων ριζών σε επιβλαβή επίπεδα και να επιταχύνει τις διαδικασίες που οδηγούν σε βιολογικές βλάβες (Phaniendra, Jestadi & Periyasamy, 2015).

Λόγω της αστάθειας τους, οι ελεύθερες ρίζες τείνουν να συνδέονται γρήγορα με άλλα μόρια, κλέβοντας ηλεκτρόνια για να αποκτήσουν σταθερότητα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται



οξειδωση και μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα κύτταρα, στα DNA, στα λιπίδια και στις πρωτεΐνες του σώματος. Ενώ οι ελεύθερες ρίζες είναι απαραίτητες για ορισμένες κυτταρικές λειτουργίες, όπως η παραγωγή ενέργειας και οι αμυντικοί μηχανισμοί ενάντια σε παθογόνα, η υπερπαραγωγή τους ή η ανεπαρκής αντιοξειδωτική προστασία μπορούν να οδηγήσουν σε καταστάσεις όπως οξειδωτικό στρες. Το οξειδωτικό στρες έχει συνδεθεί με τη γήρανση και με πολλές χρόνιες παθήσεις, όπως καρδιαγγειακές ασθένειες, διαβήτης, αρθρίτιδα, και νευροεκφυλιστικές διαταραχές όπως η νόσος Alzheimer και Parkinson (Phaniendra, Jestadi & Periyasamy, 2015).

Για να προστατευθεί από αυτές τις βλάβες ο ανθρώπινος οργανισμός χρησιμοποιεί αντιοξειδωτικά, όπως η βιταμίνη C, η βιταμίνη E, και άλλα μόρια που μπορούν να συνδεθούν με τις ελεύθερες ρίζες και να εξουδετερώσουν την αντιδραστικότητά τους προτού προκαλέσουν βλάβη (Sen et al., 2010). Η διατήρηση ενός υγιεινού επιπέδου αντιοξειδωτικών μέσω της διατροφής ή των διατροφικών συμπληρωμάτων, είναι θεμελιώδης για την αποτροπή του οξειδωτικού στρες και την προάσπιση της γενικότερης υγείας.

1.4 Αχλάδι

1.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά αχλαδιού

Το αχλάδι είναι ένας καρπός που προέρχεται από το φυτό *Pyrus*, το οποίο ανήκει στην οικογένεια *Rosaceae* (Quinet & Wesel, 2019). Τα αχλάδια καλλιεργούνται ευρέως σε όλο τον κόσμο και είναι δημοφιλή για τη γλυκιά και χυμώδη υφή τους. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη αχλαδιών, κάθε ένα με διακριτικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά το μέγεθος, το χρώμα και τη γεύση (Wrolstad, Lombard & Richardson, 2018).

Τα αχλάδια συνήθως έχουν ένα χαρακτηριστικό καμπύλο σχήμα, με πλατύ κορμό που στενεύει προς το άνω τμήμα. Το χρώμα τους μπορεί να κυμαίνεται από πράσινο, κίτρινο, κόκκινο, καφέ έως πολύχρωμες παραλλαγές, ανάλογα με την ποικιλία και το βαθμό ωρίμανσης.

Υπάρχουν πολλές ποικιλίες αχλαδιών παγκοσμίως. Μια από τις πιο δημοφιλείς κατηγορίες αχλαδιών είναι τα Bartlett (ή Williams). Αυτή η ποικιλία είναι ευρέως διαδεδομένη, ιδίως στις ΗΠΑ και τη Βρετανία. Τα αχλάδια Bartlett είναι γνωστά για την χρυσοκίτρινη φλούδα τους όταν ωριμάσουν, την μαλακή, χυμώδη σάρκα και την γλυκιά γεύση τους. Επίσης, τα αχλάδια Anjou είναι δημοφιλή λόγω της στρογγυλεμένης μορφής τους, της γεμάτης σάρκας και της λείας υφής τους. Έχουν μία ελαφρώς στυφή γεύση και είναι εξαιρετικά για φαγητό αλλά και



για ψήσιμο λόγω της σφιχτής σάρκας τους. Υπάρχουν και πολλές τοπικές ποικιλίες που καλλιεργούνται σε συγκεκριμένες περιοχές (Silva et al., 2014).

Η Ελλάδα, με το ήπιο κλίμα της και την παραδοσιακή καλλιέργεια φρούτων, παράγει ποικιλίες αχλαδιών που ξεχωρίζουν για τη γεύση και την ποιότητά τους. Ανάμεσα στις ελληνικές ποικιλίες αχλαδιών που είναι πιο γνωστές, περιλαμβάνονται τα κρυστάλλια και οι κοντούλες. Τα κρυστάλλια (ή κρυστάλι) είναι γνωστά για την κρυστάλλινη, χυμώδη σάρκα τους και το γλυκό άρωμα. Έχουν λεπτή, λεία φλούδα και είναι ιδανικά για να καταναλωθούν ωμά. Η ποικιλία αυτή αχλαδιού καλλιεργείται κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα. Μία από τις πιο σημαντικές περιοχές παραγωγής είναι η Νάουσα. Η κοντούλα είναι μια μικρότερη ποικιλία αχλαδιού με πράσινο χρώμα που μετατρέπεται σε κίτρινο καθώς το φρούτο ωριμάζει. Είναι γνωστή για την γεμάτη γεύση και την πλούσια υφή της. Καλλιεργείται κυρίως στην Ήπειρο και ειδικότερα, στην περιοχή της Άρτας (Michailidis et al., 2021).

Τα αχλάδια καλλιεργούνται σε διάφορα κλίματα ανά τον κόσμο, αλλά ευδοκιμούν κυρίως σε περιοχές με μέτριο κλίμα, χωρίς τις υπερβολικά ψυχρές ή θερμές συνθήκες. Το ιδανικό έδαφος για τα αχλάδια πρέπει να είναι καλά στραγγιζόμενο, γόνιμο και να διατηρεί καλά την υγρασία. Η φύτευση των δενδρυλλίων γίνεται συνήθως την άνοιξη ή το φθινόπωρο, ανάλογα με το κλίμα της περιοχής. Τα δέντρα αρχίζουν να καρποφορούν περίπου 3-5 χρόνια μετά τη φύτευση, με την πλήρη παραγωγική τους ικανότητα να επιτυγχάνεται συνήθως μετά από 7-10 χρόνια (Dondini & Sansavini, 2012). Η σωστή κλάδευση και η διαχείριση των ασθενειών είναι κρίσιμα για την υγεία των δέντρων και την ποιότητα των καρπών. Η συγκομιδή των αχλαδιών γίνεται συνήθως το φθινόπωρο, όταν οι καρποί είναι σχεδόν ώριμοι αλλά ακόμη σφιχτοί. Αυτό επιτρέπει στα αχλάδια να ωριμάσουν κατά την αποθήκευση, αποφεύγοντας το υπερβολικό μαλάκωμα και την απώλεια ποιότητας που μπορεί να συμβεί αν οι καρποί παραμείνουν πολύ καιρό στο δέντρο (Wrolstad, Lombard & Richardson, 2018). Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται προσεκτικά για να αποφευχθεί η βλάβη των καρπών, με τα αχλάδια να αποθηκεύονται σε δροσερά, σκιερά μέρη ώστε να ωριμάσουν ομοιόμορφα. Η διαδικασία αποθήκευσης είναι επίσης σημαντική για τη διατήρηση της ποιότητας των αχλαδιών. Κάποιες ποικιλίες μπορούν να αποθηκευτούν για αρκετούς μήνες, ενώ άλλες πρέπει να καταναλώνονται πιο σύντομα μετά τη συγκομιδή (Saquet, 2019).

Τα αχλάδια καταναλώνονται φρέσκα ή χρησιμοποιούνται σε σαλάτες, επιδόρπια και χυμούς. Επίσης, είναι δημοφιλή σε αρκετές συνταγές, όπως και στην κατασκευή μαρμελάδας ή συντηρητικών.



1.4.2 Θρεπτικά χαρακτηριστικά αχλαδιού

Το αχλάδι είναι ένας καρπός που προσφέρει πολλαπλά θρεπτικά οφέλη και είναι μέρος μιας υγιεινής διατροφής. Αυτός ο γλυκός και χυμώδης καρπός είναι όχι μόνο νόστιμος αλλά και πλούσιος σε βιταμίνες, μέταλλα και φυτικές ίνες (Εικόνα 1), κάνοντάς τον ιδανικό για κατανάλωση σε καθημερινή βάση.

φυλλικό οξύ		2%
Νιασίνη	0.157 mg	1%
παντοθενικό	0.048 mg	1%
Πυριδοξίνη	0.028 mg	2%
ριβοφλαβίνη	0.025 mg	2%
Θειαμίνη	0.012 mg	1%
βιταμίνη Α	23 IU	1%
Βιταμίνη C	4.2 mg	7%
βιταμίνη Ε	0.12 mg	1%
Βιταμίνη Κ	4.5 µg	4%
Νάτριο	1 mg	0%
Κάλιο	119 mg	2.5%
Ασβέστιο	9 mg	1%
Χαλκός	0.082 mg	9%
Σίδηρος	0.17 mg	2%
Μαγνήσιο	7 mg	2%
Μαγγάνιο		2%
Φώσφορος	11 mg	2%
Ψευδάργυρος	0.10 mg	1%

Εικόνα 1. Θρεπτικά συστατικά ανά 100 γρ. αχλαδιού

Πηγή: <https://www.diaitologia.gr/axladi-kai-axladomilo/>

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η διατροφική αξία του αχλαδιού.

- Θερμίδες και υδατάνθρακες:

Ένα μεσαίο αχλάδι περιέχει περίπου 60-100 θερμίδες και 25-27 γραμμάρια υδατανθράκων, κάνοντας το μια εξαιρετική πηγή γρήγορης ενέργειας. Οι υδατάνθρακες αυτοί προέρχονται κυρίως από φυσικά σάκχαρα όπως η φρουκτόζη, η γλυκόζη και η σακχαρόζη. Αυτό το καθιστά ιδανική πηγή για γρήγορη ενέργεια, ενώ παράλληλα διατηρεί μια χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και νάτριο (Yim & Nam, 2016).

- Φυτικές ίνες:



Τα αχλάδια είναι μια πλούσια πηγή διαλυτών και αδιάλυτων φυτικών ινών, προσφέροντας περίπου 6 γραμμάρια ανά καρπό. Οι ίνες αυτές βοηθούν στην υποστήριξη της πεπτικής υγείας, βελτιώνοντας την κινητικότητα του εντέρου και συμβάλλουν στην πρόληψη της δυσκοιλιότητας. Επίσης, οι διαλυτές ίνες μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης και στη ρύθμιση του σακχάρου του αίματος.

- **Βιταμίνες και μέταλλα:**

Τα αχλάδια είναι καλή πηγή βιταμίνης C, προσφέροντας περίπου 7mg ανά μεσαίο καρπό, ποσότητα που αντιστοιχεί σε περίπου 8% της ημερήσιας συνιστώμενης δόσης για ενήλικες. Τα αχλάδια παρέχουν επίσης μικρές ποσότητες βιταμινών K, B6 και μετάλλων όπως το κάλιο, το οποίο βοηθά στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης.

- **Αντιοξειδωτικά:**

Εκτός από τη βιταμίνη C, τα αχλάδια περιέχουν και άλλες αντιοξειδωτικές ενώσεις, όπως φλαβονοειδή και καροτενοειδή, οι οποίες συμβάλλουν στην προστασία του οργανισμού από τη βλάβη των κυττάρων και μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο ανάπτυξης κάποιων χρόνιων ασθενειών (Yim & Nam, 2016).

Εν κατακλείδι, τα αχλάδια είναι ένα θρεπτικά πλούσιο τρόφιμο που προσφέρει μια ευρεία γκάμα βιταμινών, μετάλλων και φυτικών ινών, καθιστώντας τα ένα εξαιρετικό συμπλήρωμα σε μια υγιεινή διατροφή.

1.5 Φλούδα αχλαδιού

1.5.1 Θρεπτικά χαρακτηριστικά της φλούδας αχλαδιού

Η φλούδα του αχλαδιού είναι ένα σημαντικό τμήμα του καρπού που προσφέρει πληθώρα θρεπτικών οφελών και ενισχύει την υγεία με πολλούς τρόπους. Συχνά υποτιμημένη, η φλούδα του αχλαδιού περιέχει υψηλότερες συγκεντρώσεις ορισμένων θρεπτικών συστατικών σε σχέση με τον υπόλοιπο καρπό.

Πιο αναλυτικά, ένας από τους πιο σημαντικούς θρεπτικούς πόρους που προσφέρει η φλούδα του αχλαδιού είναι οι φυτικές ίνες. Η φλούδα περιέχει ένα σημαντικό μέρος των συνολικών ινών του καρπού, με τις αδιάλυτες ίνες να αποτελούν την πλειοψηφία. Συγκεκριμένα, περιέχει περίπου 3 γραμμάρια διαιτητικών ινών ανά 100 γραμμάρια, καθιστώντας τη μια εξαιρετική πηγή αδιάλυτων και διαλυτών ινών (Michailidis et al., 2021). Οι διαλυτές ίνες συμβάλλουν στη



ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα και μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης, ενώ οι αδιάλυτες ίνες βοηθούν στην πεπτική υγεία και στην πρόληψη της δυσκοιλιότητας.

Η φλούδα του αχλαδιού είναι επίσης πλούσια σε αντιοξειδωτικά, όπως βιταμίνη C και καροτενοειδή, καθώς και φλαβονοειδή. Αυτές οι ενώσεις προστατεύουν τα κύτταρα από τη βλάβη των ελεύθερων ριζών, μειώνοντας την πιθανότητα ανάπτυξης χρόνιων ασθενειών και πρόωρης γήρανσης. Οι φαινολικές ενώσεις στη φλούδα του αχλαδιού, όπως η αρμπουτίνη και τα υδροξυκινναμικά οξέα, συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική προστασία και παρέχουν αντιμικροβιακά και αντιφλεγμονώδη οφέλη (Wrolstad, Lombard & Richardson, 2018).

Επομένως, η κατανάλωση του αχλαδιού μαζί με τη φλούδα του είναι προτιμότερη, καθώς η φλούδα περιέχει ένα σημαντικό μέρος των θρεπτικών συστατικών του καρπού. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να επιλέγονται αχλάδια που έχουν καλλιεργηθεί με ασφαλείς μεθόδους και να πλένονται καλά πριν την κατανάλωση, για την αποφυγή παραπροϊόντων από φυτοφάρμακα ή άλλες χημικές ουσίες που μπορεί να έχουν εφαρμοστεί κατά την καλλιέργεια (Michailidis et al., 2021).

1.5.2 Οικονομικός και οικολογικός αντίκτυπος της απόρριψης των φλουδών αχλαδιού

1.5.2.1 Οικονομικός αντίκτυπος

Η απόρριψη των φλουδών αχλαδιού, όπως και άλλων αγροτικών υποπροϊόντων, προκαλεί σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο σε πολλαπλά επίπεδα της αλυσίδας παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων

Κατ' αρχήν, το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων είναι ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας. Η συλλογή, μεταφορά και απόρριψη των φλουδών σε χώρους ταφής ή μονάδες καύσης συνεπάγεται υψηλά κόστη. Αυτά τα κόστη συχνά βαρύνουν τους παραγωγούς και τις τοπικές δημοτικές αρχές, καθώς απαιτούνται συστήματα για την αποτελεσματική διαχείριση και επεξεργασία των αποβλήτων (Choi et al., 2015).

Η απόρριψη των φλουδών αχλαδιού συνεπάγεται απώλεια πολύτιμων πόρων που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν οικονομική αξία. Καθώς αυτές οι φλούδες περιέχουν πολύτιμες πρώτες ύλες, θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων προϊόντων. Η περιεκτικότητα των φλουδών σε διαιτητικές ίνες, αντιοξειδωτικά και άλλα ευεργετικά



συστατικά μπορεί να αξιοποιηθεί σε μια πληθώρα εφαρμογών, τόσο στον τομέα της διατροφής όσο και σε βιομηχανικές διαδικασίες, προσφέροντας οικονομικά οφέλη και ενισχύοντας την κυκλική οικονομία (Osorio, Flórez-López & Grande-Tovar, 2020). Η απώλεια δυνητικών εσόδων από μη ανακτηθέντα παραπροϊόντα είναι σημαντική, καθώς τα απορρίμματα από τις φλούδες αχλαδιού θα μπορούσαν να μετατραπούν σε προϊόντα υψηλότερης αξίας, όπως φυσικά συμπληρώματα, καλλυντικά ή βιοκαύσιμα (Wadhwa, Bakshi & Makkar, 2016).

Επιπρόσθετα, η αξιοποίηση των φλουδών αχλαδιού μπορεί να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της απόρριψης των αποβλήτων και να συμβάλει σε μια πιο κυκλική οικονομία. Η ενθάρρυνση των καλλιεργητών και των βιομηχανιών να επενδύσουν σε τεχνολογίες και μεθόδους για την επαναχρησιμοποίηση αυτών των παραπροϊόντων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των δαπανών για τη διαχείριση των αποβλήτων, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα στην παραγωγή αχλαδιού (Campos et al., 2020).

1.5.2.2 Οικολογικός αντίκτυπος

Η απόρριψη των φλουδών αχλαδιού στο περιβάλλον έχει σημαντικό οικολογικό αντίκτυπο, κυρίως λόγω των διεργασιών που επηρεάζουν τη διάσπαση και την απόσυνθεσή τους. Όταν οι φλούδες απορρίπτονται σε χώρους ταφής, υφίστανται αναερόβια αποσύνθεση, δηλαδή αποσυντίθενται χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία παράγει μεθάνιο, ένα αέριο του θερμοκηπίου που είναι σημαντικά πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα ως προς την ικανότητά του να παγιδεύει θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Η απελευθέρωση μεθανίου συμβάλλει στην εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και τις συνακόλουθες κλιματικές αλλαγές (Esparza et al., 2020).

Ακόμη, η διαχείριση των αποβλήτων των φλουδών αχλαδιού απαιτεί σημαντικούς πόρους, όπως νερό και ενέργεια, κατά τη μεταφορά και την επεξεργασία τους. Αυτός ο πόρος που καταναλώνεται επιπλέον, επιβαρύνει το περιβάλλον και αυξάνει τον οικολογικό αποτύπωμα της παραγωγής αχλαδιού. Συγχρόνως, οι περιοχές ταφής και οι εγκαταστάσεις καύσης μπορεί να επηρεάσουν την τοπική βιοποικιλότητα και να προκαλέσουν περαιτέρω περιβαλλοντική βλάβη (Esparza et al., 2020).

Η απόρριψη των φλουδών αχλαδιού παρουσιάζει σοβαρές οικονομικές και οικολογικές προκλήσεις. Ωστόσο, αυτή η πρόκληση ανοίγει την πόρτα για καινοτόμες λύσεις που μπορούν να μετατρέψουν αυτά τα απόβλητα σε μια πολύτιμη πρώτη ύλη για διάφορες καινοτόμες εφαρμογές. Η επαναχρησιμοποίηση της φλούδας αχλαδιού μπορεί να συμβάλει τόσο στη



μείωση των αποβλήτων όσο και στη δημιουργία νέων προϊόντων με εμπορική αξία (Wadhwa, Bakshi & Makkar, 2016). Στην συνέχεια, αναφέρονται μερικοί νέοι τρόποι αξιοποίησης της φλούδας αχλαδιού, που ενισχύουν τη βιωσιμότητα προσφέροντας παράλληλα, οικονομικά οφέλη.

1.5.3 Νέοι τρόποι αξιοποίησης της φλούδας αχλαδιού

1.5.3.1 Παραγωγή φυσικών λιπασμάτων

Η παραγωγή φυσικών λιπασμάτων από τις φλούδες αχλαδιού αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη και βιώσιμη μέθοδο για την ανακύκλωση αυτού του αγροτικού αποβλήτου. Μέσω της κομποστοποίησης, οι φλούδες αχλαδιού μπορούν να μετατραπούν σε πλούσιο και θρεπτικό λίπασμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους, ωφελώντας τόσο τις καλλιέργειες όσο και το περιβάλλον (Mercy, Mubsira & Jenifer, 2014).

Ειδικότερα, η κομποστοποίηση είναι μια βιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης υπό συνθήκες ελεγχόμενου αερισμού. Οι φλούδες αχλαδιού, πλούσιες σε φυτικές ίνες και άλλα οργανικά συστατικά, αναμειγνύονται με άλλα οργανικά υλικά, όπως φυλλώματα, γκαζόν, και υπολείμματα φαγητών. Η σωστή αναλογία των υλικών, καθώς και η επαρκής παροχή οξυγόνου και υγρασίας, είναι κρίσιμα στοιχεία για την επιτυχή αποσύνθεση και την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ (Choy et al., 2015).

Τα κύρια οφέλη που προκύπτουν από την παραγωγή φυσικών λιπασμάτων είναι:

- Βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους: Το κομπόστ από φλούδες αχλαδιού εμπλουτίζει το έδαφος με οργανική ύλη και μικροοργανισμούς, βελτιώνοντας τη δομή του εδάφους και την ικανότητά του να διατηρεί νερό και θρεπτικά συστατικά.
- Μείωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων: Η χρήση φυσικού λιπάσματος μειώνει την ανάγκη για συνθετικά λιπάσματα, τα οποία είναι δαπανηρά και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Κύκλος θρεπτικών συστατικών: Το κομπόστ από φλούδες αχλαδιού διατηρεί τα θρεπτικά συστατικά εντός του αγροτικού κύκλου, προσφέροντας μια βιώσιμη λύση για τη διαχείριση των αποβλήτων (Mercy, Mubsira & Jenifer, 2014).

Πέρα από τα άμεσα οφέλη για τη γεωργία, η μετατροπή των φλουδών αχλαδιού σε κομπόστ συμβάλλει και στη μείωση του όγκου των αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους ταφής,



μειώνοντας την παραγωγή μεθανίου και τις σχετικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Esparxa et al., 2020).

Γενικά, χρήση των φλούδων αχλαδιού για την παραγωγή φυσικών λιπασμάτων ενισχύει τη βιωσιμότητα και προάγει την κυκλική οικονομία, αξιοποιώντας πλήρως τους πόρους και ελαχιστοποιώντας τις απώλειες σε κάθε στάδιο της παραγωγής.

1.5.3.2 Δημιουργία βιοενεργειακών προϊόντων

Η δημιουργία βιοενεργειακών προϊόντων από φλούδες αχλαδιού αποτελεί μία καινοτόμα και βιώσιμη εναλλακτική για την αξιοποίηση αυτού του αγροτικού αποβλήτου, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Αναλυτικότερα:

- Βιοαέριο: Μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την παραγωγή βιοενεργειακών προϊόντων από φλούδες αχλαδιού είναι η αναερόβια διάσπαση για την παραγωγή βιοαερίου. Σε αυτή τη διαδικασία, τα οργανικά υλικά όπως οι φλούδες αχλαδιού αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς σε ένα αναερόβιο περιβάλλον, παράγοντας μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το μεθάνιο που παράγεται μπορεί να κατευθυνθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, προσφέροντας μια ανανεώσιμη και καθαρή πηγή ενέργειας (Adamu et al., 2023).
- Βιοαιθανόλη: Ένας άλλος τρόπος αξιοποίησης των φλούδων αχλαδιού είναι η παραγωγή βιοαιθανόλης. Η διαδικασία περιλαμβάνει την υδρόλυση των φλούδων για την εξαγωγή σακχάρων, τα οποία στη συνέχεια ζυμώνονται για την παραγωγή αιθανόλης. Η αιθανόλη που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο, προσφέροντας μια οικολογικά φιλική επιλογή για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (Choi et al., 2015).
- Πέλλετ και Μπρικέτες: Πέρα από τα υγρά βιοκαύσιμα, οι φλούδες αχλαδιού μπορούν να συμπιεστούν για την παραγωγή πέλλετ ή μπρικετών, που χρησιμοποιούνται ως στερεά καύσιμα για θέρμανση. Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί την υψηλή περιεκτικότητα των φλούδων σε ξυλοπολτό και άλλα οργανικά συστατικά που είναι κατάλληλα για καύση, παρέχοντας μια αποδοτική και βιώσιμη εναλλακτική στα παραδοσιακά καύσιμα (Adamu et al., 2023).



Η εξερεύνηση και υλοποίηση αυτών των νέων τρόπων αξιοποίησης της φλούδας αχλαδιού για την παραγωγή βιοενεργειακών προϊόντων μπορεί να μετατρέψει αυτά τα απόβλητα σε πολύτιμους πόρους, μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα, βελτιώνοντας την ενεργειακή ασφάλεια και ενισχύοντας την οικονομική αποδοτικότητα της αγροτικής παραγωγής.

1.5.3.3 Εκχύλιση φυσικών ενώσεων

Η εκχύλιση φυσικών ενώσεων από τις φλούδες αχλαδιού για τη χρήση τους σε καλλυντικά προϊόντα αποτελεί μία ακόμη καινοτόμα και οικολογικά βιώσιμη προσέγγιση για την αξιοποίηση αυτού του αποβλήτου. Όπως έχει προαναφερθεί, οι φλούδες αχλαδιού περιέχουν πλούσιες ποσότητες αντιοξειδωτικών, φλαβονοειδών, βιταμινών και άλλων βιοενεργών ενώσεων που είναι ιδιαίτερα επιθυμητές στην καλλυντική βιομηχανία για τις αντιγηραντικές, αντιφλεγμονώδεις και ενυδατικές τους ιδιότητες (Osorio et al., 2021).

Η εκχύλιση των ενώσεων από τις φλούδες αχλαδιού μπορεί να γίνει μέσω διαφόρων τεχνικών όπως η υδροδιάλυση, η υπερκρίσιμη εκχύλιση με CO₂, η εκχύλιση με διαλύτες ή η ενζυματική εκχύλιση. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την απομόνωση και διατήρηση των φυσικών ενεργών ενώσεων σε μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε καλλυντικά. Οι φυσικές ενώσεις που εξάγονται από τις φλούδες αχλαδιού μπορεί να προστεθούν σε κρέμες, ορούς, μάσκες προσώπου και άλλα καλλυντικά προϊόντα. Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες των φλαβονοειδών βοηθούν στην προστασία του δέρματος από τις ελεύθερες ρίζες και την πρόωρη γήρανση, ενώ οι φυτικές ίνες και βιταμίνες μπορούν να προσφέρουν ενυδατικά και επουλωτικά οφέλη (Osorio et al., 2021).

Η χρήση φλουδών αχλαδιού για την παραγωγή καλλυντικών προϊόντων έχει τόσο οικολογικό όσο και οικονομικό όφελος. Από την μια, μειώνει την παραγωγή αποβλήτων και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της απόρριψής τους, και από την άλλη, παρέχει μια αξιοποιήσιμη πηγή εισοδήματος για τις εταιρείες που αναζητούν να ενσωματώσουν βιώσιμες και φυσικές εναλλακτικές στα προϊόντα τους. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο βελτιώνει την αποδοτικότητα των παραγόμενων υλικών αλλά και ενισχύει την αγοραστική προτίμηση προς προϊόντα που στηρίζουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Deng et al., 2012).

1.5.3.4 Παραγωγή εδώδιμων συσκευασιών



Η παραγωγή εδώδιμων συσκευασιών από φλούδες αχλαδιού αποτελεί μία καινοτόμα προσέγγιση που συνδυάζει τη βιωσιμότητα με την τεχνολογική καινοτομία στον τομέα των συσκευασιών τροφίμων. Αυτή η μέθοδος αναδεικνύει τη δυνατότητα ανακύκλωσης των φλούδων αχλαδιού σε υλικά που μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από τα πλαστικά και άλλα μη βιοδιασπώμενα υλικά (Yadav et al., 2023).

Για την παραγωγή εδώδιμων συσκευασιών, οι φλούδες αχλαδιού υποβάλλονται σε διαδικασίες όπως η αφυδάτωση, η μηχανική επεξεργασία για τη μετατροπή τους σε πούδρα και η χρήση φυσικών διαλυτών για την εκχύλιση πολυμερών. Αυτές οι ενώσεις μπορεί στη συνέχεια να επεξεργαστούν περαιτέρω για τη δημιουργία ελαστικών φιλμ ή άλλων υφών που είναι κατάλληλες για την χρήση ως συσκευασία. Οι εδώδιμες συσκευασίες παρασκευασμένες από φλούδες αχλαδιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσκευασία μιας ευρείας γκάμας τροφίμων, από ξηρούς καρπούς και σνακ μέχρι φρέσκα φρούτα και λαχανικά. Επιπλέον, επειδή είναι εδώδιμες, αυτές οι συσκευασίες προσφέρουν μια πιο βιώσιμη λύση, καθώς μειώνουν τα απορρίμματα και παρέχουν μια ασφαλή και υγιεινή επιλογή (Khalil et al., 2023).

Η χρήση φλούδων αχλαδιού για την παραγωγή εδώδιμων συσκευασιών μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη για συνθετικά υλικά συσκευασίας, τα οποία συχνά καταλήγουν σε χρώματα και ωκεανούς, προκαλώντας μόλυνση και βλάβη στην άγρια ζωή (Yadav et al., 2023). Επιπλέον, με τη μετατροπή των αγροτικών αποβλήτων σε προϊόντα υψηλής αξίας, αυξάνεται η αποδοτικότητα των πόρων και ενισχύεται η κυκλική οικονομία (Campos et al., 2020).

Συνολικά, η παραγωγή εδώδιμων συσκευασιών από φλούδες αχλαδιού είναι μία δραστηριότητα που επιτρέπει την αναβάθμιση του οικονομικού και οικολογικού προφίλ της αγροτικής παραγωγής, ενώ παράλληλα προσφέρει καινοτομία στη βιομηχανία τροφίμων και συσκευασίας.

1.5.3.5 Ζωοτροφές

Η αξιοποίηση των φλούδων αχλαδιού ως ζωοτροφές αποτελεί μία βιώσιμη και πρακτική εναλλακτική για την επαναχρησιμοποίηση των αγροτικών αποβλήτων, μειώνοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση και ενισχύοντας την οικονομική απόδοση των γεωργικών επιχειρήσεων.

Για την παραγωγή ζωοτροφών από φλούδες αχλαδιού, πρώτα καθαρίζονται τα απορρίμματα και στη συνέχεια υποβάλλονται σε διαδικασίες όπως η αφυδάτωση ή η αποξήρανση, για να



απομακρυνθεί η υγρασία και να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους. Αυτές οι διαδικασίες επιτρέπουν τη μετατροπή των φλουδών σε ένα ξηρό προϊόν που μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή (Nath et al., 2023).

Οι φλούδες αχλαδιού είναι πλούσιες σε φυτικές ίνες, βιταμίνες και μέταλλα, προσφέροντας έτσι ένα θρεπτικό προφίλ που μπορεί να ενισχύσει τη διατροφή των ζώων. Οι φυτικές ίνες βοηθά στη βελτίωση της πεπτικής υγείας των ζώων, ενώ οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες των φλαβονοειδών μπορεί να συμβάλουν στη βελτίωση της γενικότερης υγείας τους (Valdez-Baro et al., 2024).

Τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη από την αξιοποίηση των φλουδών αχλαδιού ως ζωοτροφή είναι σημαντικά. Αρχικά, μειώνεται η ανάγκη για παραγωγή πρόσθετων ζωοτροφών, εξοικονομώντας πόρους και μειώνοντας τον όγκο των αγροτικών αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους ταφής. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών μεθανίου, καθώς και στην προώθηση μιας πιο κυκλικής και βιώσιμης γεωργικής πρακτικής. Επιπλέον, προκύπτουν οικονομικά οφέλη στους αγρότες και τους κτηνοτρόφους με τη μείωση του κόστους των ζωοτροφών και την αξιοποίηση ενός τοπικά διαθέσιμου πόρου (Nath et al., 2023). Ακόμη, η ενίσχυση της αγοραστικής προτίμησης για προϊόντα που προέρχονται από βιώσιμες πηγές μπορεί να ανοίξει νέες αγορές και να ενισχύσει την εμπορική επιτυχία των προϊόντων που αξιοποιούν αυτές τις πρακτικές.

Συνοψίζοντας, η φλούδα του αχλαδιού, ένας παραδοσιακά απορριπτόμενος πόρος, προσφέρει πλέον σημαντικές ευκαιρίες για καινοτόμες και βιώσιμες εφαρμογές. Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση της φλούδας μπορεί να αποδώσει σημαντικά οφέλη τόσο στην περιβαλλοντική υγεία όσο και στην οικονομική αποδοτικότητα (Esparza et al., 2020). Από την παραγωγή φυσικών λιπασμάτων που βελτιώνουν τη γονιμότητα του εδάφους, την παραγωγή βιοενεργειακών προϊόντων που μετατρέπουν τα απόβλητα σε καύσιμα, μέχρι την ανάπτυξη εδωδίων συσκευασιών που προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις στα συνθετικά υλικά και τις ζωοτροφές που ενισχύουν την διατροφική ποιότητα των ζώων, η φλούδα αχλαδιού κερδίζει νέο ρόλο ως πολύτιμος πόρος (Wadhwa, Bakshi & Makkar, 2016). Η εξερεύνηση και υλοποίηση αυτών των τεχνικών μετατρέπει ένα απλό απόβλητο σε κρίσιμο συστατικό για βιώσιμες πρακτικές, ενισχύοντας την κυκλική οικονομία και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.



1.6 Στόχος-Σκοπός

Επί τη βάσει όσων αναπτύσσονται ανωτέρω και δεδομένης της ευρείας βιομηχανικής χρήσης των εκχυλισμάτων υδροαιθανόλης, που παρασκευάζονται με απλές, γρήγορες και οικονομικές μεθόδους, όπως απλή ανάδευση (Zhang et al,2018), η παρούσα μελέτη είχε ως στόχο την απομόνωση φλουδιών αχλαδιού *P. communis* για την παραγωγή από αυτά εκχυλισμάτων πλούσιων σε αντιοξειδωτικά. Με συστηματική διαφοροποίηση του χρόνου εκχύλισης, της θερμοκρασίας και της σύνθεσης του υδροαιθανολικού διαλύτη, που είναι οι κύριες παράμετροι εκχύλισης (Yim et al,2013), στοχεύσαμε στον εντοπισμό των αποδοτικότερων παραμέτρων εκχύλισης για να επιτευχθεί μέγιστη περιεκτικότητα σε συνολικές πολυφαινόλες και να ληφθούν μεμονωμένες φαιολικές ενώσεις, αντιοξειδωτική δράση και ασκορβικό οξύ. Αυτό το βελτιωμένο πρωτόκολλο εκχύλισης είχε ως στόχο τη διευκόλυνση περαιτέρω μελλοντικών ερευνών και την αξιοποίηση των φλουδιών στην ανάπτυξη νέων τροφίμων και ποτών ή στον εμπλουτισμό υπαρχόντων προϊόντων με έμφαση στις βιώσιμες πρακτικές παραγωγής.

2.Υλικά και μέθοδοι

2.1. Διαλύτες και Χημικές Ουσίες

Άνυδρο ανθρακικό νάτριο, αντιδραστήριο Folin–Ciocalteu, 2,2-διφαινυλ-1-πικρυλυδραζύλ (DPPH•) γαλλικό οξύ, 2,4,6-Τρις(2-πυριδυλ)-s-τριαζίνη (TPTZ) και μυρμηκικό οξύ (98% β/ο) στο σύνολο τους αγοράστηκαν από την Penta (Πράγα, Τσεχία). Ασκορβικό οξύ, μεθανόλη, χλωριούχος σίδηρος (III), τριχλωροξικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ, ακετονιτρίλιο και όλα τα χημικά πρότυπα για τον χρωματογραφικό ποσοτικό προσδιορισμό των πολυφαινόλων αγοράστηκαν από την Sigma-Aldrich (Steinheim, Γερμανία). Για τα πειράματα που διεξήχθησαν χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό από στήλη απιονισμού.

2.2. Συλλογή και Επεξεργασία των Αχλαδιών

Τα αχλάδια αγοράστηκαν από τοπικό κατάστημα της Καρδίτσας, Θεσσαλία. Πλύθηκαν σχολαστικά με νερό βρύσης για να απομακρυνθούν τυχόν βρώμικα κατάλοιπα και ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό. Αμέσως μετά, ξεφλουδίστηκαν με ανοξείδωτο μαχαίρι και λυοφιλοποιήθηκαν στους -54°C για 24 ώρες. Οι αποξηραμένες φλούδες αχλαδιού (ΦΑ) αλέστηκαν προς λεπτή σκόνη και κοσκινίστηκαν. Σκόνη διαμέτρου 200-400 nm αποθηκεύτηκε στους -40°C μέχρι περαιτέρω ανάλυση.



2.3. Όργανα και Εξοπλισμός

Για το κοσκίνισμα χρησιμοποιήθηκε Analysette 3 PRO (Fritsch GmbH, Oberstein, Γερμανία). Για να αποξηρανθούν με κατάψυξη οι φλούδες χρησιμοποιήθηκε λυοφιλοποιητής BK-FD10P από την Biobase (Jinan, Κίνα). Ανάδευση πραγματοποιήθηκε σε Heidolph θερμαντική πλάκα ανάδευσης (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Schwabach, Γερμανία). Για τις αναλύσεις που διεξήχθησαν, τα δείγματα θερμοστατικά ελέγχθηκαν σε συσκευή Elmasonic P (Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Γερμανία) και αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας φασματοφωτόμετρο Shimadzu UV-1900i UV/Vis (Kyoto, Ιαπωνία). Για τη φυγοκέντρηση των υγρών δειγμάτων και την απομόνωση του υπερκείμενου υγρού χρησιμοποιήθηκε φυγοκεντρητής Remi Elektrotechnik Ltd. (Palghar, Ινδία). Για τον προσδιορισμό των μεμονωμένων πολυφαινόλων χρησιμοποιήθηκε συσκευή υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) CBM-20A της Shimadzu (Shimadzu Europa GmbH, Γερμανία) εξοπλισμένη με φούρνο στήλης CTO-20AC και αυτόματο δειγματολήπτη SIL-20AC. Ακριβέστερα, χρησιμοποιήθηκε ένας ανιχνευτής φθορισμού RF-10AXL της Shimadzu, ενώ στήλη μ-Porasil (125 Å, 10 μm, 3,9 χλστ. × 300 χλστ.) ελήφθη από την Waters (Milford, MA, ΗΠΑ).

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ηλεκτρικό κοσκίνο (analyssete 3PRO)

Θερμαντική πλακα αναδευσης (Heidolph)

Υδατολουντρο (Elmasonic P)

Φασματοφωτόμετρο (Shimadzu UV-1900i)

Φυγοκεντρητής (Remi Elektrotechnik Ltd.)

Συσκευή HPLC (CBM-20A, Shimadzu)

Πολυπαραγοντική μέθοδος εκχύλισης με παραμέτρους την συγκετρωση αιθανόλης στο νερό, την θερμοκρασία και τον χρόνο εκχύλισης.

2.4. Μέθοδος Εκχύλισης

Για την βελτιστοποιημένη εκχύλιση των φλουδιών αχλαδιού χρησιμοποιήθηκε μία πολυπαραγοντική μέθοδος εκχύλισης, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, που περιλαμβάνει τις παραμέτρους εκχύλισης που διερευνήθηκαν (δηλ., συγκέντρωση αιθανόλης στο νερό (CEtOH, % o/o), θερμοκρασία εκχύλισης (°C) και διάρκεια χρόνου εκχύλισης (χρόνος, λεπτά). Χρησιμοποιήθηκε κλασική ανάδευση στις 500 στροφές ανά λεπτό (σαλ) σε θερμαντική πλάκα ανάδευσης. Για όλες τις εκχυλίσεις χρησιμοποιήθηκε αναλογία στερεού-υγρού 1:20, καθώς μετά από προκαταρκτικά πειράματα βρέθηκε ότι ήταν η προτιμότερη



αναλογία. Τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν στα $3600 \times g$ για 10 λεπτά, όπου το υπερκείμενο συλλέχθηκε και αποθηκεύτηκε στους -40°C μέχρι περαιτέρω ανάλυση.

Πολυπαραγοντική μέθοδος εκχύλισης με παραμέτρους την συγκέντρωση αιθανόλης στο νερό, την θερμοκρασία και τον χρόνο εκχύλισης.

2.5. Μελέτη Βελτιστοποιημένης Εκχύλισης με Χρήση της Μεθοδολογίας Αποκριτικής Επιφάνειας (RSM)

Βέλτιστη εκχύλιση των βιοδραστικών ενώσεων (δηλ., συνολικών και μεμονωμένων πολυφαινολικών ενώσεων και ασκορβικού οξέος) και αντιοξειδωτική ικανότητα, που αξιολογήθηκε με δοκιμασίες FRAP και DPPH, ήταν δυνατή με χρήση της Μεθοδολογίας Αποκριτικής Επιφάνειας (RSM), μελετώντας κύριες παραμέτρους εκχύλισης, όπως τη σύνθεση ενός διαλύτη που συνίσταται από μείγματα αιθανόλης και νερού, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια του χρόνου εκχύλισης. Η μεθοδολογία Box-Behnken που χρησιμοποιήθηκε απαιτούσε 15 σχεδιασμούς με 3 κεντρικά σημεία. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα τρία επίπεδα των μεταβλητών της πειραματικής μεθόδου, συμπεριλαμβανομένων των κωδικοποιημένων και των πραγματικών επιπέδων. Όπου χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις διακύμανσης (ANOVA) και έλεγχοι περίληψης- προσαρμογής, καθορίστηκε το ολικό επίπεδο σημαντικότητας του μοντέλου (R^2 , p -τιμή), καθώς και το επίπεδο σημαντικότητας των συντελεστών του μοντέλου. Για περαιτέρω ανάλυση των ανεξάρτητων μεταβλητών χρησιμοποιήσαμε ένα πολυωνυμικό μοντέλο δευτέρου βαθμού (Εξίσωση 1) για να προβλέψουμε την εξαρτημένη μεταβλητή:

[Εξίσωση 1]

όπου οι ανεξάρτητες μεταβλητές σημειώνονται ως X_i και X_j και η προβλεπόμενη εξαρτημένη μεταβλητή ορίζεται από Y_k . Στο μοντέλο, ο σταθερός όρος και οι συντελεστές παλινδρόμησης β_0 , β_i , β_{ii} και β_{ij} αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως τους γραμμικούς συντελεστές, τους τετραγωνικούς συντελεστές και τους συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	Κωδικοποιημένες μονάδες	Κωδικοποιημένα Επίπεδα		
		-1	0	1
Σ (% <i>o/o</i>)	X_1	0	50	100
Θ ($^\circ\text{C}$)	X_2	20	50	80
χρόνος (λεπτά)	X_3	30	60	90

Πίνακας 1. Πραγματικά και κωδικοποιημένα επίπεδα των ανεξάρτητων μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτιστοποίηση της μεθόδου.

2.6. Αξιολόγηση Βιοδραστικών Ενώσεων και Αντιοξειδωτικής Ικανότητας



Για να εκτιμηθεί η περιεκτικότητα σε συνολικές πολυφαινόλες (TPC) χρησιμοποιήσαμε την ανάλυση Folin-Ciocalteu. Συνοπτικά, 0,10 mL από ένα αραιωμένο εκχύλισμα δείγματος αναμίχθηκε με 0,10 mL αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu και μετά από 2 λεπτά προστέθηκαν 0,80 mL από 5% w/v υδατικό διάλυμα ανθρακικού νατρίου. Το διάλυμα μπήκε σε υδατόλουτρο για 20 λεπτά στους 40°C και η απορρόφηση μετρήθηκε στο φασματοφωτόμετρο στα 740 nm. Κατασκευάστηκε καμπύλη βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας μεθανόλη (10-100 χλστγρ./Λιτ. γαλλικού οξέος, $R^2=0,9996$) με τα αποτελέσματα να υπολογίζονται ως χλστγρ. ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (GAE) ανά γραμ. ξηρού βάρους (ξβ).

Για το ασκορβικό οξύ, σε ένα Eppendorf, 100 μ L εκχυλίσματος δείγματος μαζί με 500 μ L 10% (v/v) αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu αναμίχθηκαν με 900 μ L 10% (w/v) TCA. Η απορρόφηση μετρήθηκε στα 760 nm, αφού το δείγμα πρώτα αφέθηκε για δέκα λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου. Το ασκορβικό οξύ χρησιμοποιήθηκε ως το πρότυπο της καμπύλης βαθμονόμησης. Η περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ (AAC) αξιολογήθηκε με καμπύλη βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας 10% TCA (50-500 χλστγρ./Λιτ. ασκορβικού οξέος, $R^2=0,9980$) και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε χλστγρ. AA/100 γραμ. ξηρού βάρους.

Όσον αφορά τις αναλύσεις αντιοξειδωτικής δράσης, χρησιμοποιήθηκε τόσο η δοκιμασία εξουδετέρωσης DPPH, όσο και η δοκιμασία αναγωγής τριθενούς σιδήρου (FRAP).

Συνοπτικά, για την ικανότητα εξουδετέρωσης ριζών των πολυφαινόλων (AAR) με DPPH, πρώτα μετρήθηκε η αρχική συγκέντρωση του DPPH στο φασματοφωτόμετρο στα 515nm, χρησιμοποιώντας 975mL DPPH και 25 μ L μεθανόλη (MeOH). Έπειτα, 25 μ L του αραιωμένου δείγματος αναμίχθηκε με μια ποσότητα 975 μ L διαλύματος 100 μ L DPPH με το διάλυμα να διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου για 30 λεπτά στο σκοτάδι. Η απορρόφηση μετρήθηκε αμέσως μετά στα 515 nm. Για τυφλό δείγμα χρησιμοποιήθηκε μεθανόλη. Για τον υπολογισμό του ποσοστού εξουδετέρωσης ελευθέρων ριζών από τις πολυφαινόλες του εκχυλίσματος χρησιμοποιήθηκε η Εξίσωση :

$$\% \text{ Εξουδετέρωση Ελευθερών Ριζών } = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} \times 100$$

(Όπου A_{control} and A_{sample} είναι οι τιμές της απορρόφησης για το DPPH και το δείγμα αντίστοιχα.)

Στην ανάλυση FRAP (Ferric-Reducing Antioxidant Power), σε έναν σωλήνα Eppendorf, 50 μ L αραιωμένου δείγματος αναμίχθηκε με 50 μ L διαλύματος FeCl_3 (4 mM σε 0,05 M HCl). Το μείγμα μπήκε σε υδατόλουτρο στους 37°C για 30 λεπτά. Αμέσως προστέθηκαν 900 μ L διαλύματος TPTZ (1 mM σε 0,05 M HCl) και η απορρόφηση μετρήθηκε μετά από 5 λεπτά στα 620 nm.

Η αναγωγική ισχύς του σιδήρου (PR) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας καμπύλη βαθμονόμησης ασκορβικού οξέος (CAA) σε 0,05 M HCl με τιμές που κυμαίνονται από 50 έως 500 μ M. Η PR υπολογίστηκε ως μ mol ισοδυνάμων ασκορβικού οξέος (AAE) ανά γραμμάριο ξηρού βάρους χρησιμοποιώντας την Εξίσωση :

$$PR(\mu\text{molAAE/gdw}) = CAA \times V_{wPR} \quad (\mu\text{mol AAE/g dw}) = CAA \times \frac{V}{V} \quad PR(\mu\text{molAAE/gdw}) = CAA \times wV$$

,όπου V αντιπροσωπεύει (σε L) τον συνολικό όγκο του εκχυλίσματος και w (σε g) το ξηρό βάρος του υλικού.



2.7. Προσδιορισμός Μεμονωμένων Πολυφαινολών

Οι ποσοτικές αναλύσεις των μεμονωμένων πολυφαινολών διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (HPLC). Οι καμπύλες βαθμονόμησης που χρησιμοποιήθηκαν για τον ποσοτικό προσδιορισμό των μεμονωμένων πολυφαινολών (δηλ., χλωρογενικού οξέος οξύ, νεοχλωρογενικού οξέος, συριγγικού οξέος, φερουλικού οξέος, καμπφερόλη-3-γλυκοζίτη, επικατεχίνης, κουερσετίνη-3-D-γαλακτοζίτη, κουερσετίνη-3-D-γλυκοζίτη, ρουτίνη, ναριρουτίνη και απιγενίνη-7-O-γλυκοζίτη) παρουσίασαν εξαιρετική γραμμικότητα ($R^2 > 0,99$).

2.8. Στατιστική Ανάλυση και Επεξεργασία

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν ως μέσες τιμές των τριών ανεξάρτητων αναλύσεων $\pm$ τυπική απόκλιση (SD). Κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε εις τριπλούν. Για τον προσδιορισμό της στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών στις μέσες τιμές χρησιμοποιήθηκε έλεγχος μονόδρομης ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA), με μία p-τιμή $< 0,05$ να θεωρείται στατιστικά σημαντική. Για να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες στατιστικές αναλύσεις χρησιμοποιήσαμε το JMP® Pro 16 (SAS, Cary, NC, ΗΠΑ).



3.Αποτελέσματα και συζήτηση

3.1 . Συγκέντρωση Βιοδραστικών Ενώσεων και Αντιοξειδωτική Ικανότητα των Εκχυλισμάτων

Χρησιμοποιήθηκε μεθοδολογία RSM στοχεύοντας στον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών εκχύλισης, οι οποίες μελετήθηκαν σε σχέση προς τις τρεις βασικές παραμέτρους: σύνθεση διαλύτη, θερμοκρασία και διάρκεια εκχύλισης. Το νερό, αναμφίβολα ένας διαλύτης που χρησιμοποιείται πολύ συχνά λόγω χαμηλού κόστους και φιλικότητας προς το περιβάλλον, είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό για ανάκτηση πολικών μορίων. Ωστόσο, η πολικότητα του νερού μπορεί να είναι υψηλότερη από αυτή ορισμένων βιοδραστικών ενώσεων και να απαιτείται ρύθμιση στην πολικότητα των διαλυτών εκχύλισης. Για το λόγο αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθούν οργανικοί διαλύτες που είναι διαλυτοί στο νερό και λιγότερο πολικοί από αυτό, όπως οι αλκοόλες, για να δημιουργηθούν διμερή μείγματα σε διάφορες αναλογίες (Plaskova, Mlcek,2023). Λαμβάνοντας υπόψη την καταλληλότητα της αιθανόλης και του νερού ως προς τη χρήση τους σε τρόφιμα, οι διαλύτες αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθεί ένα εξαιρετικό διμερές μείγμα για την ανάκτηση βιοδραστικών ενώσεων στον τομέα των τροφίμων (Monroy et al,2016). Περαιτέρω βελτιστοποίηση της μεθόδου εκχύλισης θεωρήθηκε απαραίτητη για να βελτιστοποιηθούν περαιτέρω η θερμοκρασία και η διάρκεια εκχύλισης και για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Συνήθως, η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων. Έχει ευρέως αναγνωριστεί ότι εκχύλιση σε υψηλή θερμοκρασία βελτιώνει τις διαδικασίες εκχύλισης, αυξάνοντας τη διαλυτότητα του διαλύματος και ενισχύοντας τους συντελεστές διάχυσης. Ωστόσο, η παράμετρος αυτή χρήζει διεξοδικής εξέτασης, εάν λάβουμε υπόψη ότι ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορεί να αποδομούνται λόγω θερμοευαισθησίας (Antony&Farid,2022). Ειδικότερα, προηγούμενες έρευνες [(Siddiqui et al,2023),(Osorio-Tobón,2020)] έδειξαν ότι όσον αφορά τις κλασικές τεχνικές εκχύλισης, ένα εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 50-80°C είναι ιδανικό για μεγιστοποίηση της ανάκτησης βιοδραστικών ενώσεων. Ενώ έχει προηγουμένως τεκμηριωθεί ότι θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 85°C μπορεί να είναι καταστροφικές για το ασκορβικό οξύ (Antony&Farid,2022). Τέλος, όσον αφορά τη διάρκεια του χρόνου εκχύλισης, μία παράμετρο που επίσης χρήζει διεξοδικής διερεύνησης, έχει τεκμηριωθεί σε προηγούμενες έρευνες ότι τόσο βραχεία [.



Yilmaz&Toledo,2006), όσο και μακρά (Lapornik et al,2005) διάρκεια εκχύλισης είναι αποτελεσματική. Καθώς αυτές οι παράμετροι μπορεί να είναι καθοριστικές για την σοβαρότητα (Abdoun et al,2022) και την αποτελεσματικότητα [Morsli et al,2021] της μεθόδου, η βελτιστοποίησή τους θεωρήθηκε ζωτικής σημασίας. Η επίδραση αυτών των παραμέτρων αξιολογήθηκε με ανάκτηση βιοδραστικών ενώσεων (συγκεκριμένα πολυφαινόλων και ασκορβικού οξέος), ενώ επίσης αξιολογήθηκε η αντιοξειδωτική δράση χρησιμοποιώντας δύο ανεξάρτητες αναλύσεις. Τα ευρήματα αυτών των αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι το σημείο σχεδιασμού 7 ήταν το πιο αποδοτικό μεταξύ των τριών αναλύσεων (δηλ., TPC, FRAP και DPPH) ενώ τα σημεία σχεδιασμού 4, 9 και 15 βρέθηκαν να είναι οι λιγότερο αποδοτικοί συνδυασμοί. Ωστόσο, για AAC, εμφάνιζε μειωμένη αποδοτικότητα κατά 23% σε σύγκριση με το σημείο σχεδιασμού 10, το οποίο ταυτοποιήθηκε ως το βέλτιστο σημείο για τη συγκεκριμένη ανάλυση. Βάσει των αποτελεσμάτων μας, μπορεί να καταδειχθεί ότι η χρήση αιθανόλης ήταν πλεονεκτική για ανάκτηση βιοδραστικών ενώσεων και η επίδραση ήταν μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιήθηκε διμερές μείγμα αιθανόλης-νερού σε αναλογία 1:1. Αφετέρου, η χρήση 100% αιθανόλης ήταν ιδανική για την ανάκτηση ασκορβικού οξέος καθώς τα σημεία σχεδιασμού 5, 6 και 10 απέδωσαν τη μεγαλύτερη ποσότητα ασκορβικού οξέος. Όσον αφορά τη διάρκεια εκχύλισης, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών χρονικών διαστημάτων.

Πίνακας 2. Πειραματικά αποτελέσματα για τις τρεις εξετασθείσες ανεξάρτητες μεταβλητές και τις εξαρτημένες αποκρίσεις στις τέσσερις μεταβλητές.

Σημείο Σχεδιασμού	Ανεξάρτητες Μεταβλητές			Αποκρίσεις			
	X_1 (Σ, %)	X_2 (Θ, °C)	X_3 (χρόνος, λεπτά)	TPC ¹	FRAP ²	DPPH ³	AAC ⁴
1	0 (50)	0 (50)	0 (60)	5.03	28.89	14.16	13.61
2	0 (50)	0 (50)	0 (60)	5.01	29.84	14.84	14.14
3	0 (50)	-1 (20)	-1 (30)	5.18	24.40	15.80	11.15
4	-1 (0)	0 (50)	-1 (30)	3.19	7.31	2.07	5.70
5	1 (100)	-1 (20)	0 (60)	3.49	19.55	7.70	19.06
6	1 (100)	0 (50)	-1 (30)	3.65	21.07	8.00	19.99
7	0 (50)	1 (80)	-1 (30)	5.65	33.31	20.99	17.23
8	0 (50)	0 (50)	0 (60)	5.00	30.67	13.91	13.73
9	-1 (0)	0 (50)	1 (90)	1.63	11.65	3.86	5.79
10	1 (100)	1 (80)	0 (60)	2.29	29.66	11.22	22.43



11	0 (50)	-1 (20)	1 (90)	4.71	30.42	11.63	11.55
12	1 (100)	0 (50)	1 (90)	2.53	23.68	7.90	18.30
13	0 (50)	1 (80)	1 (90)	2.66	15.89	17.56	16.88
14	-1 (0)	-1 (20)	0 (60)	4.24	18.18	3.22	6.94
15	-1 (0)	1 (80)	0 (60)	2.10	4.18	9.17	9.46

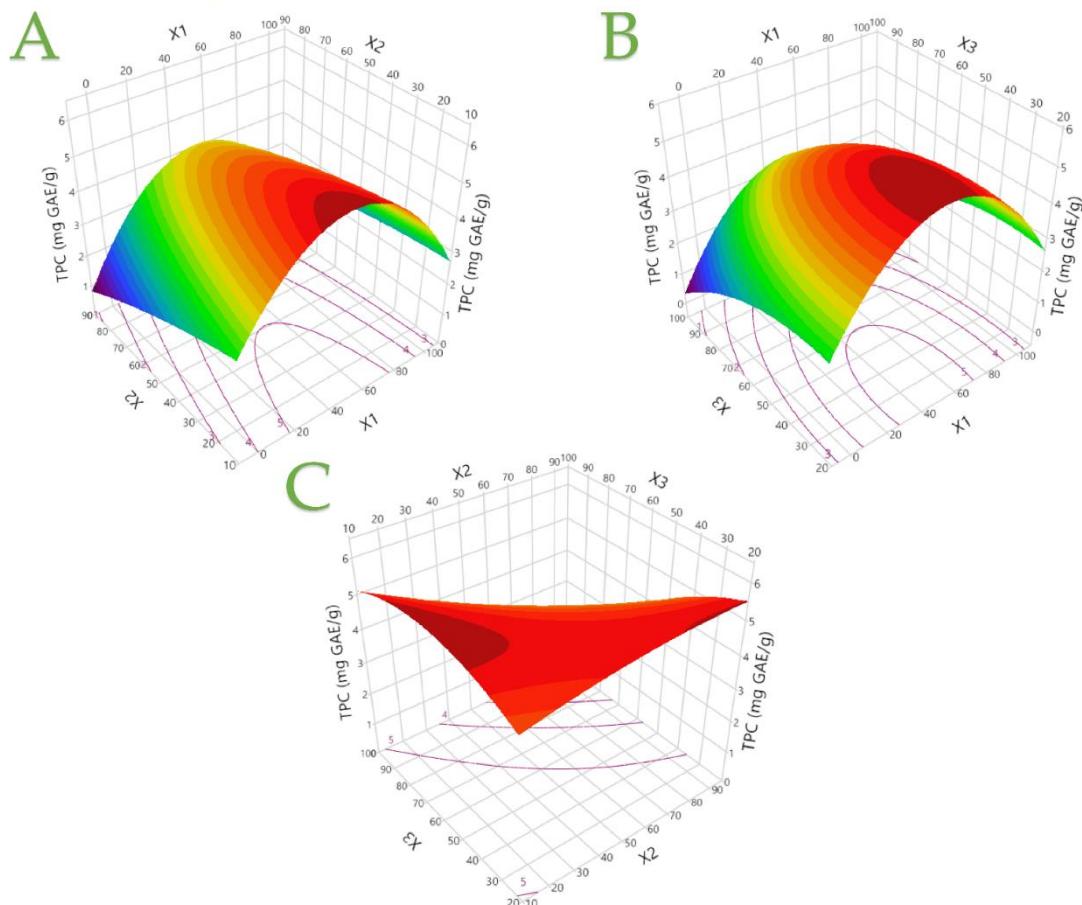
¹Περιεκτικότητα σε συνολικές πολυφαινόλες (TPC) σε χλστγρ. GAE/γραμ. ξηρού βάρους, ²Σιδηροαναγωγική αντιοξειδωτική ισχύς (FRAP) σε μmol AAE/ γραμ. ξηρού βάρους, ³2,2-Διφαινυλ-1-πικρυλνυδραζύλ (DPPH) σε μmol AAE/ γραμ. ξηρού βάρους, ⁴Περιεκτικότητα ασκορβικού οξέος (AAC) σε χλστγρ./100 γραμ. ξηρού βάρους

Οι πολυωνυμικές εξισώσεις δευτέρου βαθμού (μοντέλα) και οι αντίστοιχοι συντελεστές αυτών ($R^2 > 0,96$) που αποκτήθηκαν για κάθε μοντέλο παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 παρακάτω, υποδεικνύοντας καλή προσαρμογή των μοντέλων που αναπτύχθηκαν.

Διαγράμματα των αναμενόμενων και των πραγματικών τιμών για κάθε παράμετρο και των αντίστοιχων συναρτήσεων επιθυμητότητας δίνονται στα Σχήματα S1–S4. Το Σχήμα 1 δείχνει το τρισδιάστατο διάγραμμα απόκρισης για TPC, ενώ τα Σχήματα S5–S7 παρουσιάζουν τα τρισδιάστατα διαγράμματα απόκρισης για τις υπόλοιπες αποκρίσεις. Σε αυτά τα διαγράμματα δεικνύεται η επίδραση κάθε μεταβλητής X_1 – X_3 σε κάθε μία από τις αναλύσεις. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι στα σημεία όπου το γράφημα απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα έχει επιτευχθεί η μέγιστη τιμή της μεταβλητής. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1Α συγκέντρωση αιθανόλης 50% και χαμηλή θερμοκρασία επιτυγχάνουν τα βέλτιστα αποτελέσματα για TPC (~5 χλστγρ. GAE/γραμ. ξηρού βάρους).

Αποκρίσεις	Πολυωνυμικές εξισώσεις δευτέρου-βαθμού (Μοντέλα)	R^2 Προβλεπόμενη	R^2 Προσαρμοσμένη	p-Τιμή	Εξισ.
TPC	$Y = 2.35 + 0.07X_1 + 0.02X_2 + 0.06X_3 - 0.0008X_1^2 - 0.0001X_2^2 - 0.0004X_3^2 + 0.0002X_1X_2 + 0.0001X_1X_3 - 0.0007X_2X_3$	0.9615	0.8922	0.0049	(2)
FRAP	$Y = -9.09 + 0.39X_1 + 0.25X_2 + 0.71X_3 - 0.004X_1^2 - 0.001X_2^2 - 0.003X_3^2 + 0.004X_1X_2 - 0.0003X_1X_3 - 0.007X_2X_3$	0.9616	0.8923	0.0049	(3)
DPPH	$Y = 5.31 + 0.43X_1 - 0.16X_2 - 0.007X_3 - 0.004X_1^2 + 0.003X_2^2 - 0.0001X_3^2 - 0.0004X_1X_2 - 0.0003X_1X_3 + 0.0002X_2X_3$	0.9691	0.9135	0.0029	(4)
AAC	$Y = 2.44 + 0.16X_1 - 0.06X_2 + 0.13X_3 - 0.0002X_1^2 + 0.001X_2^2 - 0.0009X_3^2 + 0.0001X_1X_2 - 0.0003X_1X_3 - 0.0002X_2X_3$	0.9880	0.9665	0.0003	(5)

Πίνακας 3. Βελτιστοποίηση της εκχύλισης φλούδας αχλαδιού επιτεύχθηκε με χρήση μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας RSM. Στα μοντέλα συμπεριλήφθηκαν μόνο σημαντικοί όροι.



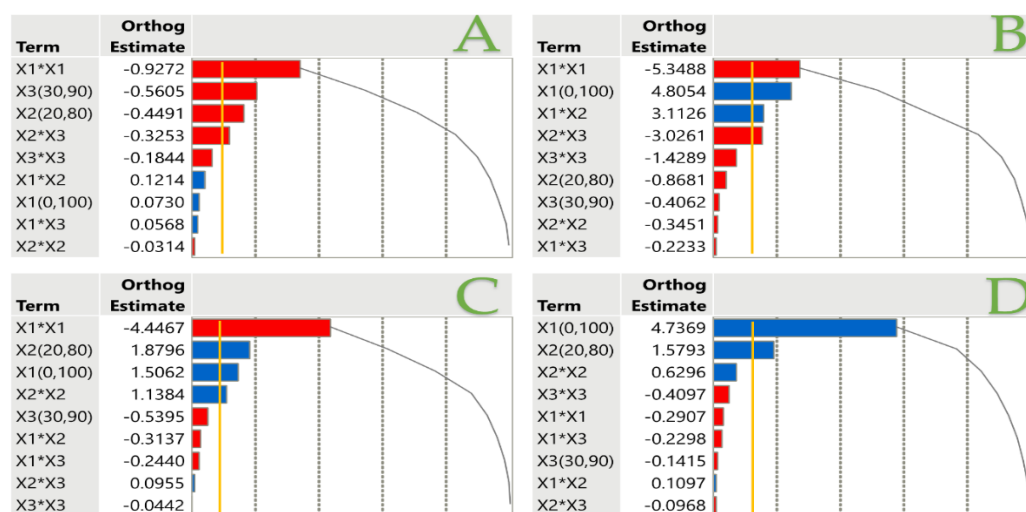
Σχήμα 1. Γραφήματα που απεικονίζουν τις επιδράσεις των υπό εξέταση μεταβλητών της πειραματικής μεθόδου επί της αποκρίσεως, παρουσιάζουν τρισδιάστατα την ιδανική εκχύλιση εκχυλισμάτων φλούδας αχλαδιού. (περιεκτικότητα σε συνολικές πολυφαινόλες– TPC, χλστγρ. GAE/γρμ. ξηρού βάρους). Γραφική παράσταση (A) συνδιακύμανση των X_1 και X_2 . Γραφική παράσταση (B) συνδιακύμανση των X_1 και X_3 . Γραφική παράσταση (C) συνδιακύμανση των X_2 και X_3 .

3.2 . Μελέτη της Επίπτωσης Συνδυασμών των Παραμέτρων Εκχύλισης μέσω Ανάλυσης Διαγραμμάτων Pareto

Οι παράμετροι εκχύλισης και οι επιπτώσεις των συνδυασμών τους επί της βελτιστοποίησης της εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων από φλούδες αχλαδιού διερευνήθηκαν μέσω διαγραμμάτων Pareto (Σχήμα 2). Οι θετικές και αρνητικές επιπτώσεις των παραμέτρων εκχύλισης απεικονίζονται με μπλε και κόκκινες ράβδους αντιστοίχως. Μια χρυσή γραμμή υποδηλώνει το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας που ορίστηκε σε $p < 0,05$. Αποκαλύφθηκε ότι αύξηση της αιθανόλης στη σύνθεση είχε σημαντική αρνητική επίπτωση επί της εκχύλισης πολυφαινολών, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2Α. Η ίδια τάση



παρατηρήθηκε σε αμφότερες τις αναλύσεις αντιοξειδωτικής ικανότητας, καθώς αυτές οι μεταβλητές συσχετίζονται θετικά, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στα Σχήματα 2B και C και όπως επίσης υποστηρίζεται παρακάτω. Ωστόσο, μία αντίθετη τάση παρατηρήθηκε στο Σχήμα 2D, όσον αφορά την ανάκτηση ασκορβικού οξέος, καθώς όσο υψηλότερη ήταν η περιεκτικότητα σε αιθανόλη, τόσο υψηλότερη ήταν και η απόδοση ποσότητας ασκορβικού οξέος. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί πιθανότατα να σχετίζεται με την πολικότητα του διαλύτη. Η θερμοκρασία ήταν μια άλλη παράμετρος που επηρέασε σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία εκχύλισης. Υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσουν σε αποδόμηση των πολυφαινόλων και ως εκ τούτου αυτή η παράμετρος θεωρήθηκε ότι έχει αρνητική επίπτωση επί της ανάκτησης πολυφαινόλης. Τέλος, η διάρκεια εκχύλισης δεν θεωρήθηκε ως παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την διαδικασία εκχύλισης, καθώς μία παρατεταμένη διάρκεια εκχύλισης επηρέασε αρνητικά μόνο την ανάκτηση πολυφαινόλης.



Σχήμα 2. Διαγράμματα Pareto για αναλύσεις TPC (A), FRAP (B), DPPH (C) και AAC (D) με χρήση μετασχηματισμένων εκτιμήσεων. Το επίπεδο σημαντικότητας ($p < 0.05$) υποδεικνύεται με μία χρυσή γραμμή αναφοράς.

3.3 Βέλτιστες Συνθήκες Εκχύλισης

Τα αχλάδια καταναλώνονται ως φρούτα λόγω της υψηλής θρεπτικής τους αξίας και συχνά καταναλώνονται με τη φλούδα τους. Έχει αναφερθεί ότι έχουν αντιμικροβιακή δράση, καθώς τροποποιούν τη δομή της εντερικής μικροχλωρίδας και έχουν σημαντική επίδραση επί του καρκίνου του ενδομητρίου. Τα αποτελέσματα των βέλτιστων συνθηκών εκχύλισης για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, η TPC ήταν η μόνη μεταβλητή που απαιτούσε εκχύλιση σε χαμηλή θερμοκρασία και επωφελήθηκε περισσότερο από μία συγκέντρωση 50% ο/ο αιθανόλης προς νερό (για την ακρίβεια 48% ο/ο), αποδίδοντας 5,55 χλστγρ. GAE/γρμ. ξηρού βάρους. Οι αναλύσεις εκτίμησης αντιοξειδωτικής δράσης FRAP και DPPH απαιτούσαν την υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία



(δηλ., 80°C) και διαφορετικές συνθέσεις διαλύτη, που έφταναν τα 34,90 και 19,73 μmol AAE/γραμ. ξηρού βάρους, αντιστοίχως. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι AAC χρειαζόταν μία συγκέντρωση αιθανόλης 100%, για μεγιστοποίηση AAC (23,45 χλστγρ./100 γραμ. ξηρού βάρους), κάτι που βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τις στατιστικές προβλέψεις. Σε καμία ανάλυση δεν απαιτήθηκε η μέγιστη δυνατή διάρκεια

Η TPC των φλουδών αχλαδιού μπορεί να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών καλλιεργούμενων ποικιλιών και γεωγραφικών περιοχών. Για παράδειγμα, οι Li et al. ,2014, μελέτησαν την αντιοξειδωτική ικανότητα δέκα ποικιλιών αχλαδιού από την Κίνα, την Κορέα και τη Νότια Αφρική. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν 60% ο/ο αναλογία μεθανόλης σε νερό ως διαλύτη, που απέδωσε περίπου 3-11 χλστγρ. GAE/γραμ. ξηρού βάρους. Σε μια παρόμοια μελέτη από τους Wang et al. 2021, ο πολτός πέντε διαφορετικών ποικιλιών αχλαδιού από την Αυστραλία εξετάστηκε για την περιεκτικότητα του σε πολυφαινόλες. Οι συγγραφείς επέλεξαν ως βέλτιστο διαλύτη 70% ο/ο αιθανόλης σε νερό και παρέλαβαν ποσοτικά 1,89-3,14 χλστγρ. GAE/γραμ. Όσον αφορά την αντιοξειδωτική δράση, οι συγγραφείς ανέφεραν τιμές DPPH (3,25-5,72 χλστγρ. AAE/γραμ. ξηρού βάρους) και FRAP (2,15-4,37 χλστγρ. AAE/γραμ. ξηρού βάρους). Οι τιμές αυτές ισοδυναμούν με 18,45-32,48 μmol AAE/γραμ. ξηρού βάρους και 12,21-24,81 μmol AAE/γραμ. ξηρού βάρους, αντιστοίχως. Τιμές που συμφωνούν και με τα δικά μας αποτελέσματα . Τέλος, σε μια μελέτη των Azzini et al. 2019, μελετήθηκαν πέντε αρχαίες ποικιλίες S. Giovanni για την περιεκτικότητά τους σε βιοδραστικές ενώσεις. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ως διαλύτη 50% ο/ο μεθανόλης σε νερό και άφησαν το μείγμα να αναδευτεί σε χαμηλό pH για 1 ώρα. Ανακάλυψαν ότι οι πολυφαινόλες κυμαίνονταν μεταξύ 1,47-3,51 χλστγρ. GAE/γραμ. νωπού βάρους, ενώ το ασκορβικό οξύ κυμαινόταν μεταξύ 17,74-46,84 χλστγρ./100 γραμ. νωπού βάρους. Το ασκορβικό οξύ έχει πολλές χρήσεις στον ιατρικό τομέα ως ένωση που προάγει την υγεία (Doseděl et al. 2021).

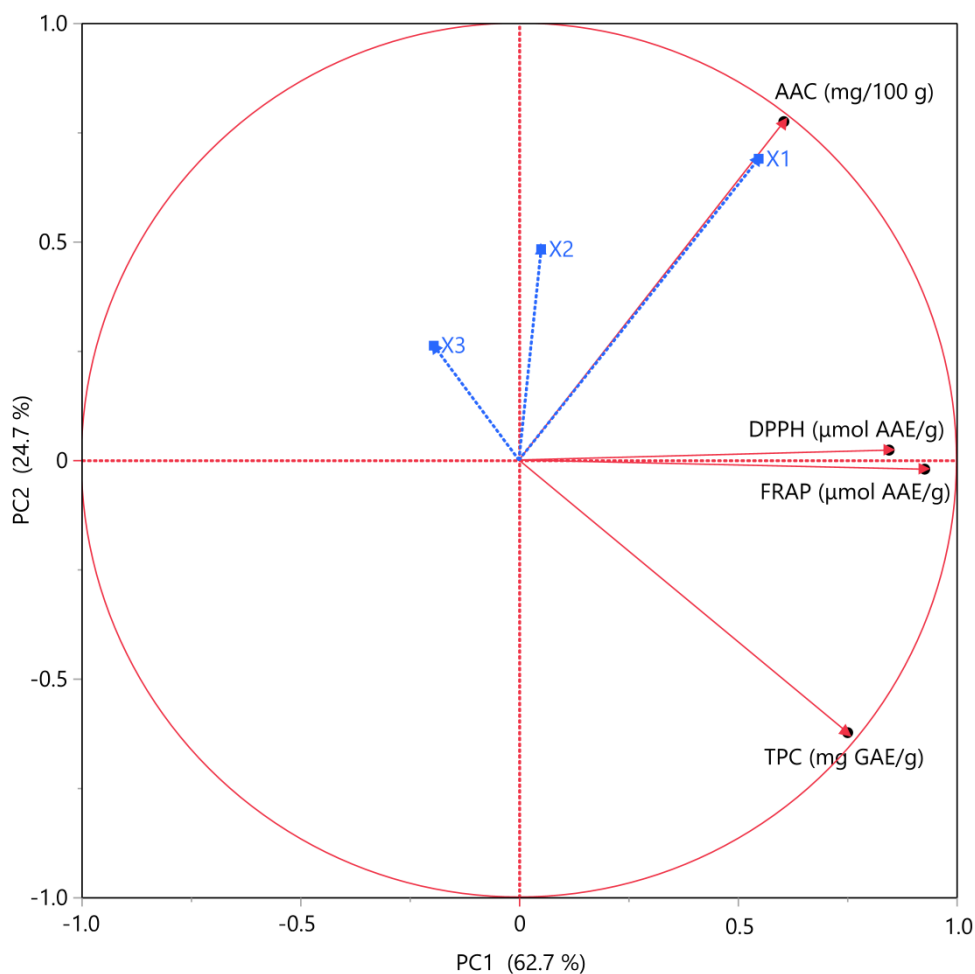
Αποκρίσεις	Βέλτιστες Συνθήκες			
	Μέγιστη Προβλεπόμεν Σ (% , ν/ν) η Απόκριση	Θ (°C)	χρόνος (λεπτά)	
TPC (χλστγρ. GAE/γραμ. ξβ)	5,55 ± 0,70	48	20	57
FRAP (μmol AAE/γραμ. ξβ)	34,90 ± 6,50	77	80	34
DPPH (μmol AAE/γραμ. ξβ)	19,73 ± 3,61	55	80	30
AAC (χλστγρ./100 γραμ. ξβ)	23,45 ± 2,17	100	80	55

Πίνακας 4. Μέγιστες προβλεπόμενες αποκρίσεις και οι πραγματικές βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης αυτών για τις τέσσερις εξαρτημένες μεταβλητές.



3.4 . Αναλύσεις Συσχέτισης

Για να αποσαφηνιστεί περαιτέρω η σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων εκχύλισης χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις συσχέτισης. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν PCA και MCA στατιστικές αναλύσεις, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3 και στον Πίνακα 5, αντιστοίχως. Οι μεταβλητές αναλύθηκαν σε δύο κύριες συνιστώσες, PC1 και PC2, οι οποίες εξήγησαν το 62,7% και το 24,7% της διακύμανσης αντιστοίχως. Συγκεκριμένα, οι μεταβλητές TPC, FRAP, DPPH και AAC όλες συσχετίζονται θετικά με PC1, ενώ οι μεταβλητές TPC και FRAP συσχετίζονταν αρνητικά με PC2. Όπως εξηγήθηκε νωρίτερα στο διάγραμμα Pareto, αυξημένη συγκέντρωση αιθανόλης στο διμερές μείγμα ύδατος ήταν ευεργετική για την εκχύλιση ασκορβικού οξέος. Αυτό το εύρημα επιβεβαιώθηκε επίσης στο διάγραμμα PCA, καθώς αμφότερες οι μεταβλητές (δηλ., X_1 και AAC) συσχετίζονταν θετικά και ήταν γειτονικά τοποθετημένες η μία προς την άλλη. Επίσης παρατηρήθηκε ότι TPC, FRAP και DPPH παρουσιάζουν παρόμοιες αποκρίσεις στις συνθήκες εκχύλισης, όπως φαίνεται από την σχετική διάκριση τους στο διάγραμμα PCA. Ο πίνακας MCA αποκάλυψε ποσοτική συσχέτιση μεταξύ των υπό εξέταση μεταβλητών. Αποδεικνύεται η υψηλή αντιοξειδωτική δράση των πολυφαινόλων που ανακτήθηκαν, καθώς παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση ($>0,5$) μεταξύ TPC και των αναλύσεων αντιοξειδωτικής ικανότητας (δηλ., FRAP και DPPH), όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Ωστόσο, παρατηρήθηκε χαμηλότερος συντελεστής συσχέτισης μεταξύ AAC και των αναλύσεων αντιοξειδωτικής ικανότητας. Οι πολυφαινόλες έχουν υψηλή ικανότητα δέσμευσης ελεύθερων ριζών, προσφέροντας για κατανάλωση σημαντικές ενώσεις που προάγουν την υγεία (Rudrapal et al., 2022). Τέλος, παρατηρήθηκε χαμηλή συσχέτιση μεταξύ AAC και TPC, καθώς αυτές οι ενώσεις για να ανακτηθούν επιτυχώς απαιτούν διαφορετικούς διαλύτες.



Σχήμα 3. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA) για τις τέσσερις εξαρτώμενες μεταβλητές που μετρήθηκαν. Το μπλε χρώμα δεικνύει κάθε μία από τις X μεταβλητές.

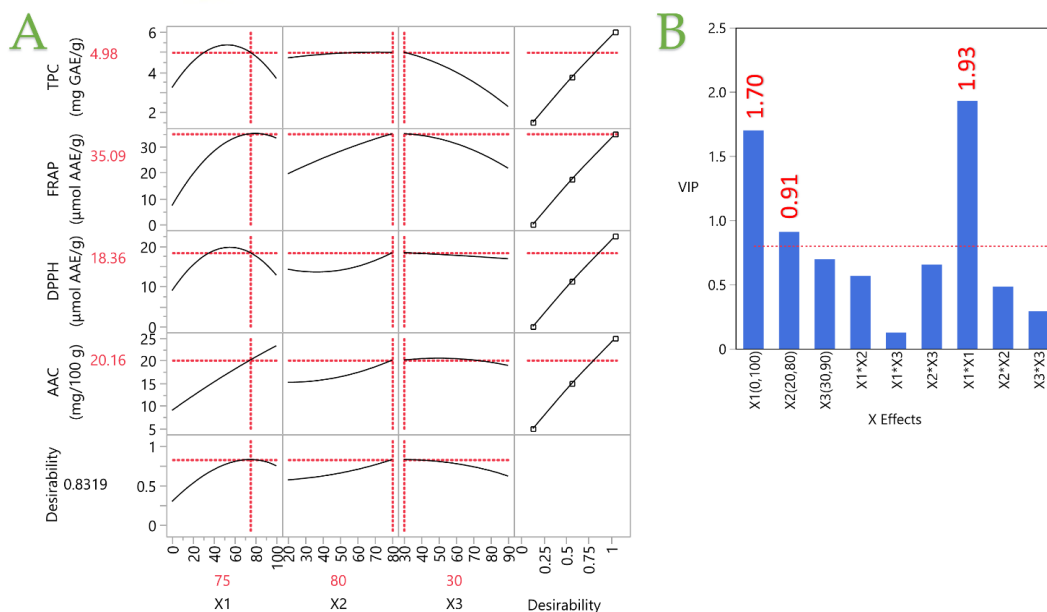
Αποκρίσεις	TPC	FRAP	DPPH	AAC
TPC	-	0,7090	0,5520	0,0116
FRAP		-	0,6255	0,5531
DPPH			-	0,4613
AAC				-

Πίνακας 5. Πολυπαραγοντική ανάλυση συσχέτισης των τεσσάρων εξαρτώμενων μεταβλητών που μετρήθηκαν.



3.5. Βέλτιστες Συνθήκες Εκχύλισης μέσω Ανάλυσης Μερικών Ελαχίστων Τετραγώνων (PLS)

Ένα μοντέλο μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS) δημιουργήθηκε στο Σχήμα 4 και παρουσιάζεται το διάγραμμα συσχέτισης φορτίου για να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις των τριών παραμέτρων συνθηκών εκχύλισης (X_1 , X_2 και X_3). Σε αυτό το γράφημα απεικονίζεται η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων εκχύλισης στα εκχυλίσματα φλούδας αχλαδιού. Τα ευρήματα που προέκυψαν βρίσκονταν σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που συζητήθηκαν στην ενότητα 3.1. Πρώτα από όλα, βρέθηκε ότι αυξανόμενη συγκέντρωση αιθανόλης στο διμερές μείγμα αιθανόλης και νερού έχει εξαιρετικές επιπτώσεις. Το διάγραμμα αποκάλυψε ότι στασιμότητα επιτεύχθηκε σε ακριβή συγκέντρωση αιθανόλης (75% ο/ο). Η συγκέντρωση αυτή θεωρήθηκε ως η προτιμώμενη για ρύθμιση της πολικότητας του διαλύτη. Παρόμοια τάση παρατηρήθηκε και στη μεταβλητή θερμοκρασίας (X_2), καθώς βρέθηκε πως για την βελτιστοποίηση της μεθόδου εκχύλισης προτιμώνται αυξημένες τιμές. Η ανάκτηση αντιοξειδωτικών ενώσεων είναι υψηλότερη σε αυξημένες θερμοκρασίες, καθώς αυξάνεται η διαλυτότητά τους και ενισχύεται ο ταχύτητα μεταφοράς μάζας στο διαλύτη. Τέλος, όσον αφορά τη μεταβλητή διάρκειας εκχύλισης, βρέθηκε ότι για υψηλότερες αποδόσεις εκχύλισης ήταν περισσότερο επωφελής μία μικρής διάρκειας διαδικασία εκχύλισης. Ένα υψηλό επίπεδο επιθυμητότητας 0,83 υποστηρίζει επίσης την αξιοπιστία της μεθόδου. Οι επιπτώσεις των μεταβλητών εκχύλισης απεικονίζονται στο Σχήμα 5B, όπου διαπιστώθηκε ότι η συμβολή της περιεκτικότητας υδροαιθανόλης ήταν υψίστης σημασίας, καθώς έφτασε στο 1,70, ξεπερνώντας το όριο του 0,8. Επίσης σημαντικές επιπτώσεις στην ενίσχυση της εκχύλισης είχε η θερμοκρασία εκχύλισης, καθώς έφθασε στο επίπεδο του 0,91.



Σχήμα 4. Το διάγραμμα (A) δείχνει τη βελτιστοποίηση των εκχυλισμάτων φλούδας αχλαδιού χρησιμοποιώντας ένα προφίλ πρόβλεψης μερικών ελαχίστων τετραγώνων (PLS) και μια συνάρτηση επιθυμητότητας με έλεγχο παρέκτασης. Το διάγραμμα (B) αντιπροσωπεύει το Διάγραμμα Σημαντικότητας Μεταβλητών (VIP), ένα γράφημα επιλογής με τιμές VIP για κάθε μεταβλητή πρόβλεψης. Για κάθε μεταβλητή το διάγραμμα (B) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,8 παρουσιάζει μια κόκκινη διακεκομμένη γραμμή.

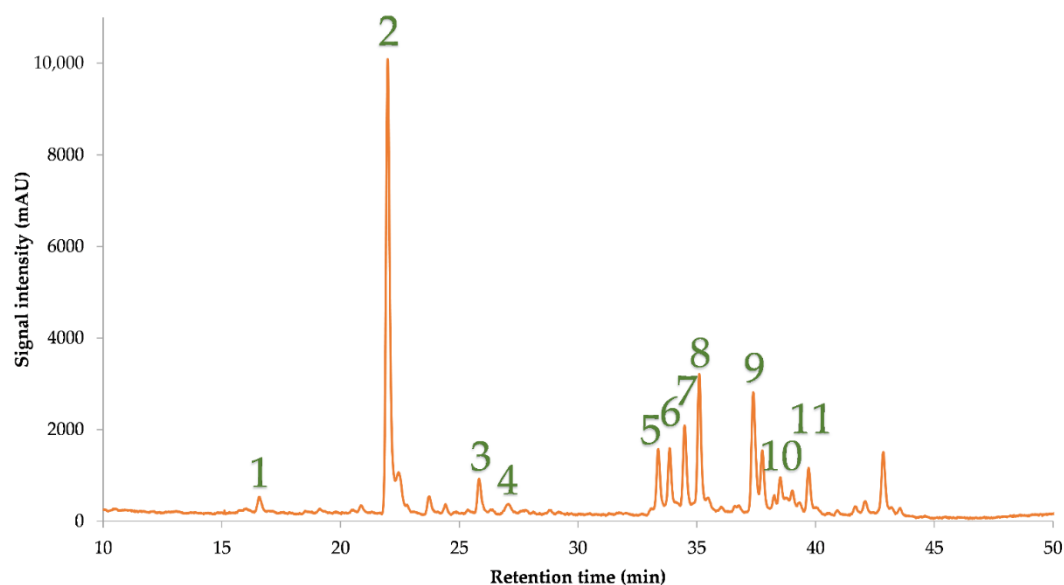
Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης 0,9981 και ο υψηλός συντελεστής προσδιορισμού (R^2) 0,9961 δεικνύουν την εξαιρετική συμφωνία μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων και των προβλέψεων του PLS μοντέλου. Η χαμηλή p -τιμή ($<0,0001$) υποδηλώνει την έλλειψη σημαντικής διακύμανσης μεταξύ των αναμενόμενων και των πραγματικών τιμών. Οι πειραματικές συνθήκες $X_1:75$, $X_2:80$ και $X_3:30$ επιβεβαιώνουν αυτή την συμφωνία συμφωνώντας με τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6, που επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα του μοντέλου.



Μεταβλητές	Τιμές Μοντέλου PLS	Πειραματικές τιμές
TPC (χλστγρ. GAE/γραμ. ξβ)	4,98	5,49 ± 0,37
FRAP (μmol AAE/γραμ. ξβ)	35,09	37,11 ± 1,26
DPPH (μmol AAE/γραμ. ξβ)	18,36	18,84 ± 0,38
AAC (χλστγρ./100 γραμ. ξβ)	20,16	21,05 ± 0,74

Πίνακας 6. Υπό βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης, το μερικών ελαχίστων τετραγώνων PLS εργαλείο πρόβλεψης μεγιστοποιεί την επιθυμητότητα όλων των μεταβλητών. (X_1 :75, X_2 :80 και X_3 :30).

Τέλος, στον Πίνακα 7 παρατίθενται στο σύνολό τους, οι πολυφαινόλες που ποσοτικά προσδιορίστηκαν στα υδροαιθανόλικά εκχυλίσματα φλούδας αχλαδιού υπό βέλτιστες συνθήκες, οι οποίες απεικονίζονται γραφικά με ένα υποδειγματικό χρωματογράφημα στο Σχήμα 5. Με 40,1% του συνόλου των γνωστών πολυφαινολικών ενώσεων να είναι χλωρογενικό οξύ, το οποίο αποτελεί την πιο άφθονη πολυφαινολική ουσία. Αυτό το εύρημα υποστηρίζεται επίσης από προηγούμενες ερευνητικές μελέτες που ποσοτικά προσδιόρισαν τη συγκεκριμένη ένωση ως μία από τις κύριες πολυφαινόλες που υπάρχουν στα αχλάδια [(Wang et al.2021),(των Azzini et al. ,2019),(Rudrapal et al., 2022),(Liaudanskas et al.,2017)]. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματά μας ήταν συγκρίσιμα με εκείνα των Liaudanskas et al. ,2017που έλαβαν ποσοτικά 0,53 χλστγρ./γραμ. ξηρού βάρους και των Azzini et al. ,2019 που ανέκτησαν 0,43 χλστγρ./γραμ. νωπού βάρους χλωρογενικού οξέος. Τα κατά του διαβήτη και της παχυσαρκίας αποτελέσματα του χλωρογενικού οξέος έχουν συσχετιστεί με βελτιώσεις στον μεταβολισμό της γλυκόζης (Lee&Nam,2024). Επίσης, ποσοτικά προσδιορίστηκε κουερσετίνη σε συνολικό ποσοστό ~21%. Δεδομένου ότι η κουερσετίνη έχει ισχυρές αντιοξειδωτικές, καρδιοπροστατευτικές και νευροπροστατευτικές ιδιότητες, η παρουσία της ενισχύει σημαντικά τα οφέλη για την υγεία του εκχυλίσματος φλούδιών αχλαδιού (Aghababaei &Hadidi,2023).



Σχήμα 5. Παραδειγματικό HPLC χρωματογράφημα σε 320 nm βέλτιστου εκχυλίσματος φλουδιών αχλαδιού, δεικνύει τις πολυφαινολικές ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν. 1: Νεοχλωρογενικό οξύ, 2: Χλωρογενικό οξύ, 3: Συριγγικό οξύ, 4: Επικατεχίνη, 5: Φερουλικό οξύ, 6: Ρουτίνη, 7: Κουερσετίνη-3-*D*-γαλακτοζίτη, 8: Κουερσετίνη-3-*β*-*D*-γλυκοζίτη, 9: Ναριρουτίνη, 10: Καμπφερόλη-3-γλυκοζίτη, 11: Απιγενίνη-7-*O*-γλυκοζίτη

Πολυφαινολική ένωση	Βέλτιστο Εκχύλισμα (χλστυγρ./γρ.αμ. ξβ)	Ποσότητα (%)
Νεοχλωρογενικό οξύ	0,11 ± 0,01	2,1
Χλωρογενικό οξύ	2,04 ± 0,07	40,1
Συριγγικό οξύ	0,19 ± 0,01	3,6
Επικατεχίνη	0,08 ± 0,01	1,5
Φερουλικό οξύ	0,32 ± 0,02	6,2
Ρουτίνη	0,32 ± 0,02	6,3
Κουερσετίνη-3- <i>D</i> - γαλακτοζίτη	0,42 ± 0,02	8,2
Κουερσετίνη 3- <i>β</i> - <i>D</i> - γλυκοζίτη	0,64 ± 0,02	12,6
Ναριρουτίνη	0,56 ± 0,02	11,0
Καμπφερόλη-3-γλυκοζίτη	0,19 ± 0,01	3,8
Απιγενίνη-7- <i>O</i> -γλυκοζίτη	0,23 ± 0,01	4,6
Σύνολο Ταυτοποιημένων	5,09 ± 0,21	

Πίνακας 7. Ποσοτικός προσδιορισμός μεμονωμένων πολυφαινολών υπό βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης (X₁:75, X₂:80 και X₃:30).



4. Συμπεράσματα

Τόσο η βιομηχανία τροφίμων όσο και οι καταναλωτές έχουν επιδείξει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση των αποβλήτων. Υπάρχει σαφής προτίμηση μεταξύ των καταναλωτών για τρόφιμα και ποτά που παρασκευάζονται με ελάχιστα απόβλητα. Επιπλέον, είναι υψίστης σημασίας ο εμπλουτισμός των βιοδραστικών ενώσεων και της αντιοξειδωτικής ικανότητας αυτών των προϊόντων με φυσικά μέσα, όπως με προσθήκη εκχυλισμάτων υψηλής αντιοξειδωτικής δράσης, λαμβανόμενα από υποπροϊόντα τροφίμων. Η παρούσα έρευνα περιγράφει την δημιουργία ενός εκχυλίσματος με υψηλή δραστικότητα από το υποπροϊόν μιας από τις πιο συχνά καλλιεργούμενες και καταναλισκόμενες ποικιλίες αχλαδιού στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, την *P. communis*, χρησιμοποιώντας τις πιο κατάλληλες συνθήκες συμβατικής εκχύλισης. Παράμετροι εκχύλισης, όπως η διάρκεια, η θερμοκρασία και η αναλογία αιθανόλης προς νερό, ρυθμίστηκαν για την παραγωγή εκχυλισμάτων υψηλής προστιθέμενης αξίας με υψηλή περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες και ασκορβικό οξύ, καθώς και σημαντικά επίπεδα αντιοξειδωτικής δράσης. Δεδομένης της εκτενούς χρήσης του *P. communis* στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών, η έρευνα αυτή επεδίωξε να ενισχύσει την αντιοξειδωτική ικανότητα των φλουδιών αχλαδιού μέσω λεπτομερούς πειραματικής και στατιστικής ανάλυσης.



Βιβλιογραφία

- ❖ Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.
- ❖ Abdal Dayem, A., Choi, H. Y., Yang, G. M., Kim, K., Saha, S. K., & Cho, S. G. (2016). The anti-cancer effect of polyphenols against breast cancer and cancer stem cells: molecular mechanisms. *Nutrients*, 8(9), 581.
- ❖ Abdoun, R., Grigorakis, S., Kellil, A., Loupassaki, S., & Makris, D. P. (2022). Process optimization and stability of waste orange peel polyphenols in extracts obtained with organosolv thermal treatment using glycerol-based solvents. *ChemEngineering*, 6(3), 35.
- ❖ Adamu, H., Bello, U., Yuguda, A. U., Tafida, U. I., Jalam, A. M., Sabo, A., & Qamar, M. (2023). Production processes, techno-economic and policy challenges of bioenergy production from fruit and vegetable wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113686.
- ❖ Aghababaei, F., & Hadidi, M. (2023). Recent advances in potential health benefits of quercetin. *Pharmaceuticals*, 16(7), 1020.
- ❖ Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of temperatures on polyphenols during extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107
- ❖ Azzini, E., Maiani, G., Durazzo, A., Foddai, M. S., Intorre, F., Venneria, E., ... & Polito, A. (2019). S. Giovanni varieties (*Pyrus communis* L.): antioxidant properties and phytochemical characteristics. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019(1), 6714103.
- ❖ Baranowska-Wójcik, E., Winiarska-Mieczan, A., Olcha, P., Kwiecień, M., Jachimowicz-Rogowska, K., Nowakowski, Ł., ... & Gałczyński, K. (2024). Polyphenols Influence the Development of Endometrial Cancer by Modulating the Gut Microbiota. *Nutrients*, 16(5), 681.
- ❖ Barnes, S., Prasain, J., D'Alessandro, T., Arabshahi, A., Botting, N., Lila, M. A., ... & Weaver, C. M. (2011). The metabolism and analysis of isoflavones and other dietary polyphenols in foods and biological systems. *Food & function*, 2(5), 235-244.
- ❖ Bruno, R. M., & Ghiadoni, L. (2018). Polyphenols, antioxidants and the sympathetic nervous system. *Current Pharmaceutical Design*, 24(2), 130-139.
- ❖ Campos, D. A., Gómez-García, R., Vilas-Boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of fruit industrial by-products—A case study on circular economy approach. *Molecules*, 25(2), 320.
- ❖ Carr, A. C., & Maggini, S. (2017). Vitamin C and immune function. *Nutrients*, 9(11), 1211.
- ❖ Chiva-Blanch, G., & Visioli, F. (2012). Polyphenols and health: Moving beyond antioxidants. *Journal of Berry Research*, 2(2), 63-71.
- ❖ Choi, I. S., Lee, Y. G., Khanal, S. K., Park, B. J., & Bae, H. J. (2015). A low-energy, cost-effective approach to fruit and citrus peel waste processing for bioethanol production. *Applied Energy*, 140, 65-74.



- ❖ Choy, S. Y., Wang, K., Qi, W., Wang, B., Chen, C. L., & Wang, J. Y. (2015). Co-composting of horticultural waste with fruit peels, food waste, and soybean residues. *Environmental technology*, 36(11), 1448-1456.
- ❖ Deng, G. F., Shen, C., Xu, X. R., Kuang, R. D., Guo, Y. J., Zeng, L. S., ... & Li, H. B. (2012). Potential of fruit wastes as natural resources of bioactive compounds. *International journal of molecular sciences*, 13(7), 8308-8323.
- ❖ Doessing, S., Heinemeier, K. M., Holm, L., Mackey, A. L., Schjerling, P., Rennie, M., ... & Kjaer, M. (2010). Growth hormone stimulates the collagen synthesis in human tendon and skeletal muscle without affecting myofibrillar protein synthesis. *The Journal of physiology*, 588(2), 341-351.
- ❖ Dondini, L., & Sansavini, S. (2012). European pear. *Fruit breeding*, 369-413.
- ❖ Doseděl, M., Jirkovský, E., Macáková, K., Krčmová, L. K., Javorská, L., Pourová, J., ... & Oemonom. (2021). Vitamin C—sources, physiological role, kinetics, deficiency, use, toxicity, and determination. *Nutrients*, 13(2), 615.
- ❖ Esparza, I., Jiménez-Moreno, N., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., & Gandía, L. M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of environmental management*, 265, 110510.
- ❖ Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in plant science*, 9, 413553.
- ❖ Gowe, C. (2015). Review on potential use of fruit and vegetables by-products as a valuable source of natural food additives. *Food Sci. Qual. Manag*, 45(1), 47-61.
- ❖ Hemilä, H., & Chalker, E. (2013). Vitamin C for preventing and treating the common cold. *Cochrane database of systematic reviews*, (1).
- ❖ Jenkins, D. J., Kendall, C. W., & Sievenpiper, J. L. (2021). Plant polyphenols lignans and cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 78(7), 679-682.
- ❖ Khalil, R. K., Sharaby, M. R., & Abdelrahim, D. S. (2023). Novel active edible food packaging films based entirely on citrus peel wastes. *Food Hydrocolloids*, 134, 107961.
- ❖ Khoo, H. E., Ng, H. S., Yap, W. S., Goh, H. J. H., & Yim, H. S. (2019). Nutrients for prevention of macular degeneration and eye-related diseases. *Antioxidants*, 8(4), 85.
- ❖ Khurana, S., Venkataraman, K., Hollingsworth, A., Piche, M., & Tai, T. C. (2013). Polyphenols: benefits to the cardiovascular system in health and in aging. *Nutrients*, 5(10), 3779-3827.
- ❖ Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food engineering*, 71(2), 214-222.
- ❖ Lee, E., & Nam, J. O. (2024). Anti-Obesity and Anti-Diabetic Effects of *Ostericum koreanum* (Ganghwal) Extract. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), 4908.
- ❖ Li, D., Li, B., Ma, Y., Sun, X., Lin, Y., & Meng, X. (2017). Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 84-93.
- ❖ Li, X., Wang, T., Zhou, B., Gao, W., Cao, J., & Huang, L. (2014). Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory potential of peels and flesh from 10 different pear varieties (*Pyrus* spp.). *Food chemistry*, 152, 531-538



- ❖ Liaudanskas, M., Zymonė, K., Viškelis, J., Klevinskas, A., & Janulis, V. (2017). Determination of the phenolic composition and antioxidant activity of pear extracts. *Journal of Chemistry*, 2017(1), 7856521.
- ❖ Lis, D. M., & Baar, K. (2019). Effects of different vitamin C-enriched collagen derivatives on collagen synthesis. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(5), 526-531.
- ❖ Lykkesfeldt, J., & Poulsen, H. E. (2010). Is vitamin C supplementation beneficial? Lessons learned from randomised controlled trials. *British journal of nutrition*, 103(9), 1251-1259.
- ❖ Martinotti, S., Bonsignore, G., Patrone, M., & Ranzato, E. (2021). Mediterranean Diet Polyphenols: Anthocyanins and Their Implications for Health. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 21(13), 1692-1700.
- ❖ May, J. M. (2012). Vitamin C transport and its role in the central nervous system. *Water Soluble Vitamins: Clinical Research and Future Application*, 85-103.
- ❖ McCusker, M. M., Durrani, K., Payette, M. J., & Suchecki, J. (2016). An eye on nutrition: The role of vitamins, essential fatty acids, and antioxidants in age-related macular degeneration, dry eye syndrome, and cataract. *Clinics in dermatology*, 34(2), 276-285.
- ❖ Mercy, S., Mubsira, B. S., & Jenifer, I. (2014). Application of different fruit peels formulations as a natural fertilizer for plant growth. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(1), 300-307.
- ❖ Michailidis, M., Karagiannis, E., Nasiopoulou, E., Skodra, C., Molassiotis, A., & Tanou, G. (2021). Peach, apple, and pear fruit quality: To peel or not to peel?. *Horticulturae*, 7(4), 85.
- ❖ Moein, S. (2015). Polyphenols and cancer: A review. *Mol. Med. J*, 1, 6-12.
- ❖ Monroy, Y. M., Rodrigues, R. A., Sartoratto, A., & Cabral, F. A. (2016). Influence of ethanol, water, and their mixtures as co-solvents of the supercritical carbon dioxide in the extraction of phenolics from purple corn cob (*Zea mays* L.). *The Journal of Supercritical Fluids*, 118, 11-18.
- ❖ Morsli, F., Grigorakis, S., Halahlah, A., Poulianiti, K. P., & Makris, D. P. (2021). Appraisal of the combined effect of time and temperature on the total polyphenol yield in batch stirred-tank extraction of medicinal and aromatic plants: The extraction efficiency factor. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 25, 100340.
- ❖ Murillo, A., & Fernandez, M. (2017). The relevance of dietary polyphenols in cardiovascular protection. *Current Pharmaceutical Design*, 23(17), 2444-2452.
- ❖ Nath, P. C., Ojha, A., Debnath, S., Sharma, M., Nayak, P. K., Sridhar, K., & Inbaraj, B. S. (2023). Valorization of food waste as animal feed: a step towards sustainable food waste management and circular bioeconomy. *Animals*, 13(8), 1366.
- ❖ Obrenovich, M. E., Nair, N. G., Beyaz, A., Aliev, G., & Reddy, V. P. (2010). The role of polyphenolic antioxidants in health, disease, and aging. *Rejuvenation research*, 13(6), 631-643.
- ❖ Okuda, T., & Ito, H. (2011). Tannins of constant structure in medicinal and food plants—hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules*, 16(3), 2191-2217.



- ❖ Osorio, L. L. D. R., Flórez-López, E., & Grande-Tovar, C. D. (2021). The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Molecules*, 26(2), 515.
- ❖ Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 4299-4315.
- ❖ Pehlivan, F. E. (2017). Vitamin C: An antioxidant agent. *Vitamin C*, 2, 23-35.
- ❖ Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian journal of clinical biochemistry*, 30, 11-26.
- ❖ Plaskova, A., & Mlcek, J. (2023). New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1118761.
- ❖ Pullar, J. M., Carr, A. C., & Vissers, M. (2017). The roles of vitamin C in skin health. *Nutrients*, 9(8), 866.
- ❖ Quadros, L., Brandao, I., & Longhi, R. (2016). Ascorbic acid and performance: a review. *Vitam. Miner*, 5(1), 136-140.
- ❖ Quinet, M., & Wesel, J. P. (2019). Botany and taxonomy of pear. *The Pear Genome*, 1-33.
- ❖ Rana, A., Samtiya, M., Dhewa, T., Mishra, V., & Aluko, R. E. (2022). Health benefits of polyphenols: A concise review. *Journal of Food Biochemistry*, 46(10), e14264.
- ❖ Rodríguez-García, C., Sánchez-Quesada, C., Toledo, E., Delgado-Rodríguez, M., & Gaforio, J. J. (2019). Naturally lignan-rich foods: A dietary tool for health promotion?. *Molecules*, 24(5), 917.
- ❖ Rudrapal, M., Khairnar, S. J., Khan, J., Dukhyil, A. B., Ansari, M. A., Alomary, M. N., ... & Devi, R. (2022). Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism (s) of action. *Frontiers in pharmacology*, 13, 806470.
- ❖ Saquet, A. A. (2019). Storage of pears. *Scientia Horticulturae*, 246, 1009-1016.
- ❖ Savic, A., Aradski, A. A., Zivkovic, J., Savikin, K., Jaric, S., Marin, P. D., & Duletic-Lausevic, S. (2021). Phenolic composition, and antioxidant and antineurodegenerative potential of methanolic extracts of fruit peel and flesh of pear varieties from Serbia. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 71(2).
- ❖ Sen, S., Chakraborty, R., Sridhar, C., Reddy, Y. S. R., & De, B. (2010). Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines: current status and future prospect. *Int J Pharm Sci Rev Res*, 3(1), 91-100.
- ❖ Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., ... & Sharifi-Rad, J. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Frontiers in physiology*, 11, 694.
- ❖ Siddiqui, S. A., Ali Redha, A., Salauddin, M., Harahap, I. A., & Rupasinghe, H. V. (2023). Factors affecting the extraction of (poly) phenols from natural resources using deep eutectic solvents combined with ultrasound-assisted extraction. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 1-22.



- ❖ Silva, G. J., Souza, T. M., Barbieri, R. L., & Costa de Oliveira, A. (2014). Origin, domestication, and dispersing of pear (*Pyrus* spp.). *Advances in Agriculture*, 2014.
- ❖ Soleymani, S., Habtemariam, S., Rahimi, R., & Nabavi, S. M. (2020). The what and who of dietary lignans in human health: Special focus on prooxidant and antioxidant effects. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 382-390.
- ❖ Spagnuolo, C., Napolitano, M., Tedesco, I., Moccia, S., Milito, A., & Luigi Russo, G. (2016). Neuroprotective role of natural polyphenols. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 16(17), 1943-1950.
- ❖ Umeno, A., Horie, M., Murotomi, K., Nakajima, Y., & Yoshida, Y. (2016). Antioxidative and antidiabetic effects of natural polyphenols and isoflavones. *Molecules*, 21(6), 708.
- ❖ Valdez-Baro, O., Jiménez-Ortega, L. A., Cabanillas-Bojórquez, L. Á., Gutiérrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2024). Food Byproducts as Potential Functional Ingredients for Animal Feeding. In *Food Byproducts Management and Their Utilization* (pp. 417-452). Apple Academic Press.
- ❖ Wadhwa, M., Bakshi, M. P. S., & Makkar, H. P. S. (2016). Wastes to worth: value added products from fruit and vegetable wastes. *CABI Reviews*, (2015), 1-25.
- ❖ Wang, Z., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2021). A comparative investigation on phenolic composition, characterization and antioxidant potentials of five different australian grown pear varieties. *Antioxidants*, 10(2), 151.
- ❖ Williamson, G. (2017). The role of polyphenols in modern nutrition. *Nutrition bulletin*, 42(3), 226-235.
- ❖ Wrolstad, R. E., Lombard, P. B., & Richardson, D. G. (2018). The pear. In *Quality and preservation of fruits* (pp. 67-96). CRC Press.
- ❖ Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Pratibha, & Anurag, R. K. (2023). Edible packaging from fruit processing waste: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 39(4), 2075-2106.
- ❖ Yahfoufi, N., Alsadi, N., Jambi, M., & Matar, C. (2018). The immunomodulatory and anti-inflammatory role of polyphenols. *Nutrients*, 10(11), 1618.
- ❖ Yáñez, J. A., Remsberg, C. M., Takemoto, J. K., Vega-Villa, K. R., Andrews, P. K., Sayre, C. L., ... & Davies, N. M. (2012). Polyphenols and flavonoids: an overview. *Flavonoid Pharmacokinetics: Methods of Analysis, Preclinical and Clinical Pharmacokinetics, Safety, and Toxicology*, 1-69.
- ❖ Yilmaz, Y., & Toledo, R. T. (2006). Oxygen radical absorbance capacities of grape/wine industry byproducts and effect of solvent type on extraction of grape seed polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), 41-48.
- ❖ Yim, H. S., Chye, F. Y., Rao, V., Low, J. Y., Matanjun, P., How, S. E., & Ho, C. W. (2013). Optimization of extraction time and temperature on antioxidant activity of *Schizophyllum commune* aqueous extract using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 50, 275-283.
- ❖ Yim, S. H., & Nam, S. H. (2016). Physiochemical, nutritional and functional characterization of 10 different pear cultivars (*Pyrus* spp.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89.
- ❖ Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33-42.



- ❖ Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese medicine*, 13, 1-26.