UNIVERZITET U NOVOM SADU

TEHNOLOŠKI FAKULTET NOVI SAD

UTICAJ RAZLIČITIH POSTUPAKA SUŠENJA NA HEMIJSKI SASTAV I BIOAKTIVNOST CELERA, PERŠUNA I KURKUME

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentori:
prof. dr Jelena Vulić
dr Olja Šovljanski

Kandidat:
Staniša Latinović, mast. preh. inž.

Novi Sad, 2025. godine

UNIVERZITET U NOVOM SADU **OBRAZAC – 5a**
TEHNOLOŠKI FAKULTET NOVI SAD

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA[1]

Vrsta rada:	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora:	Staniša Latinović
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje, institucija):	dr Jelena Vulić, vanredni profesor, Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu dr Olja Šovljanski, naučni saradnik, Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu
Naslov rada:	Uticaj različitih postupaka sušenja na hemijski sastav i bioaktivnost celera, peršuna i kurkume
Jezik i pismo rada:	Srpski jezik (latinica)
Fizički opis rada:	Uneti broj: Stranica **252** Poglavlja **8** Referenci **281** Tabela **60** Slika **27** Grafikona **0** Priloga **13**
Naučna oblast:	Tehnološko inženjerstvo
Uža naučna oblast (naučna disciplina):	Prehrambeno inženjerstvo
Ključne reči / predmetna odrednica:	sušenje, korenasto-krtolaste biljke, antioksidanti, bioaktivna svojstva, polifenolna jedinjenja, funkcionalna hrana, senzorska evaluacija
Apstrakt na jeziku rada:	Sušenje predstavlja jednu od najčešće primenjivanih metoda konzervisanja hrane, a u slučaju prerade začinskih biljaka ima ključan uticaj na očuvanje njihove nutritivne vrednosti, bioaktivnih komponenti i senzorskih svojstava. Cilj ove doktorske disertacije bio je da se ispita uticaj različitih postupaka sušenja — sušenja na sobnoj temperaturi, konvektivnog sušenja na 60 °C i 90 °C, kao i liofilizacije — na fizičko-hemijske karakteristike i biološku aktivnost korena celera (*Apium graveolens*), korena peršuna (*Petroselinum crispum*) i rizoma kurkume (*Curcuma longa*). Korišćenjem hemometrijskih analiza i određivanjem sadržaja ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola, kao i procenom antioksidativnog potencijala (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS}, FRAP test) i kolorimetrijskih parametara, identifikovani su optimalni postupci sušenja: konvektivno sušenje na 90 °C za celer, te liofilizacija za peršun i kurkumu. Ovi rezultati poslužili su kao osnova za razvoj funkcionalne mešavine korenasto-krtolastih biljaka poboljšanih nutritivnih i senzorskih karakteristika. Mešavina sastavljena od jednakih udela korena celera, peršuna i kurkume (označena kao CPT6) izdvojila se kao optimalna formulacija, sa visokim sadržajem ukupnih polifenola

[1] Autor doktorske disertacije potpisao je i priložio sledeće Obrasce:
5b – Izjava o autorstvu;
5v – Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada i dozvola za objavljivanje ličnih podataka;
5g – Izjava o korišćenju.
Ove Izjave se čuvaju u instituciji u štampanom i elektronskom obliku i ne koriče se sa radom.

	(9,56 mg GAE/g), izraženim antioksidativnim kapacitetom (IC_{50}^{DPPH}=981,74 µg/mL, IC_{50}^{ABTS}=124,49 µg/mL, FRAP=103,35 µmol Fe^{2+}/g) i pozitivnim senzorskim profilom ocenjenim prosečnom ocenom 3,58 ("vrlodobar"). Uzorak CPT6 dodatno je pokazao značajna biofunkcionalna svojstva, uključujući snažnu inhibiciju aktivnosti enzima α-amilaze (72%) i α-glukozidaze (80%), kao i umerenu antihipertenzivnu (inhibicija ACE od 62%) i antihiperholesterolemijsku aktivnost (inhibicija HMG-CoA reduktaze od 55%). Na osnovu dobijenih rezultata, mešavina CPT6 pokazuje potencijal za primenu u svakodnevnoj ishrani ili prehrambenoj industriji, kao začin, funkcionalna čajna mešavina ili dodatak ishrani sa izraženim biološkim efektima i povoljnim uticajem na zdravlje potrošača.
Datum prihvatanja teme od strane nadležnog veća:	4. 3. 2025.
Datum odbrane: (Popunjava naknadno institucija)	
Članovi komisije: (titula, ime, prezime, zvanje, institucija)	Predsednik: Mentor: Mentor: Član: Član:
Napomena:	/

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNOLOGY NOVI SAD

KEY WORD DOCUMENTATION[2]

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Staniša Latinović
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Dr. Jelena Vulić, Associate Professor, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad Dr. Olja Šovljanski, Research Associate, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad
Thesis title in English:	The influence of different drying methods on the chemical composition and bioactivity of celery, parsley and turmeric
Language and script:	Serbian language (Latin script)
Physical description:	Number of: Pages **252** Chapters **8** References **281** Tables **60** Illustrations **27** Graphs **0** Appendices **13**
Scientific field:	Technological engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Food engineering
Subject, Key words:	drying, root and tuber vegetables, antioxidants, bioactive properties, polyphenolic compounds, functional food, sensory evaluation
Abstract in English:	Drying is one of the most commonly applied food preservation techniques, with a particularly significant impact on the quality of spice processing. The primary aim of this doctoral dissertation was to investigate the effects of different drying methods — ambient air drying, convective drying at 60 °C and 90 °C, and freeze-drying — on the physicochemical properties and biological activity of celery root (*Apium graveolens*), parsley root (*Petroselinum crispum*), and turmeric rhizome (*Curcuma longa*). Using chemometric analyses, including quantification of polyphenolic compounds (total polyphenolics, flavonoids, flavonols, flavan-3-ols), antioxidant activity (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS}, FRAP), and colorimetric parameters, convective drying at 90 °C was determined to be optimal for celery, while freeze-drying was identified as the most suitable for parsley and turmeric samples. These findings served as the foundation for developing a functional blend of root vegetables with enhanced nutritional and sensory properties. A formulation composed of equal parts of celery, parsley, and turmeric

[2] The author of the doctoral dissertation has signed the following Statements:
5b – Statement on the authorship,
5v – Statement that the printed and e-version of the doctoral dissertation are identical and authorization to use personal data,
5g – Copyright statement.
The paper and e-versions of Statements are held at the institution and are not included into the printed thesis.

	(designated CPT6) emerged as optimal, exhibiting a high total polyphenolic content (9.56 mg gallic acid equivalents/g), significant antioxidant capacity (IC_{50}^{DPPH}=981.74 µg/mL, IC_{50}^{ABTS}=124.49 µg/mL, FRAP=103.35 µmol Fe^{2+}/g), and a favorable sensory profile rated as "very good" (average score: 3.58). Furthermore, CPT6 demonstrated promising biofunctional properties, including strong inhibitory activity against α-amylase (72%) and α-glucosidase (80%), moderate antihypertensive potential (62% ACE inhibition), and antihypercholesterolemic activity (55% inhibition of HMG-CoA reductase) Based on these results, the CPT6 mixture holds strong potential for application in everyday diets or the food industry, either as a seasoning, tea blend, or functional food ingredient with marked biological activity and beneficial health effects.
Date of endorsement by the scientific board:	4. 3. 2025.
Date of defence: (Filled in by the institution)	
Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution)	Chair: Mentor: Mentor: Member: Member:
Note:	/

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA 4

3. PREGLED LITERATURE 7

3.1. Povrće 8

3.2. Korenasto-krtolasto povrće 10

3.2.1. Eterična ulja – izvor aromatičnih komponenti u korenasto-krtolastom povrću 11

3.2.2. Kvalitet začina 13

3.2.3. Hemijski sastav i nutritivne karakteristike odabranih začinskih korenasto-krtolastih biljaka 14

3.2.3.1. Celer (*Apium graveolens* L.) 14

3.2.3.2. Peršun (*Petroselinum crispum*) 16

3.2.3.3. Kurkuma (*Curcuma longa* L.) 19

3.2.4. Prerada začinskih biljaka 21

3.3. Konzervisanje namirnica sušenjem 23

3.3.1. Podela metoda sušenja 26

3.3.1.1. Sušenje vrućim vazduhom 27

3.3.1.2. Prirodno sušenje 30

3.3.1.3. Vakuum sušenje 32

3.3.1.4. Sušenje zamrzavanjem (liofilizacija) 33

3.3.2. Uticaj sušenja na karakteristike i održivost prehrambenih namirnica 36

3.4. Senzorska analiza prehrambenih proizvoda 40

3.5. Biološki potencijal odabranih začinskih biljaka 42

4. EKSPERIMENTALNI RAD 68

4.1. Biljni materijal 70

4.2. Postupci sušenja biljnog materijala 70

4.3. Fizičko-hemijska analiza pripremljenog suvog i svežeg biljnog materijala 72
4.3.1. Određivanje sadržaja vlage 72
4.3.2. Određivanje aktivnosti vode 72
4.3.3. Određivanje sadržaja pepela 72
4.3.4. Određivanje sadržaja sirovih proteina metodom po Kjeldahl-u 73
4.3.5. Određivanje sadržaja sirove masti 73
4.3.6. Sastav masnih kiselina 74
4.3.7. Instrumentalno određivanje boje 74
4.3.8. Određivanje mineralnog sastava 75
4.4. Određivanje fitohemijskog profila i bioloških aktivnosti uzoraka pre i nakon sušenja 75
4.4.1. Ekstrakcija uzoraka pre i nakon sušenja 75
4.4.2. Određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja 76
4.4.2.1. Ukupni polifenoli 76
4.4.2.2. Ukupni flavonoidi 77
4.4.2.3. Ukupni flavonoli 78
4.4.2.4. Ukupni flavan-3-oli 78
4.4.3. HPLC analiza pojedinačnih polifenolnih jedinjenja 78
4.4.4. Antioksidativna aktivnost uzoraka 79
4.4.4.1. $DPPH^{\bullet}$ test 79
4.4.4.2. $ABTS^{\bullet+}$ test 80
4.4.4.3. FRAP test 82
4.4.5. Antihiperglikemijska (antidijabetička) aktivnost 83
4.4.6. Antibakterijska aktivnost uzoraka 84
4.5. Priprema i analiza smeša osušenog bilja u cilju odabira optimalnog sastava mešavine 84
4.5.1. Određivanje hemijskog sastava smeša osušenog začinskog bilja 85
4.5.2. Određivanje boje 85

4.5.3. Određivanje ukupnih polifenola i antioksidativnog potencijala smeša začina ... 86
4.5.3.1. Ekstrakcija uzoraka ... 86
4.5.3.2. Određivanje sadržaja ukupnih polifenola ... 86
4.5.3.3. Određivanje antioksidativne aktivnosti ... 87
4.5.3.3.1. $DPPH^{\bullet}$ test ... 87
4.5.3.3.2. $ABTS^{\bullet+}$ test ... 87
4.5.3.3.3. FRAP test ... 87
4.5.4. Senzorska analiza ... 87
4.5.5. Ispitivanje hemijskog sastava i bioloških aktivnosti optimalne smeše povezanih sa unapređenjem zdravlja ... 90
4.5.5.1. Određivanje hemijskog sastava optimalne smeše ... 90
4.5.5.2. Određivanje bioloških aktivnosti finalnog proizvoda povezanih sa unapređenjem zdravlja ... 90
4.5.5.2.1 Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u optimalnoj smeši ... 90
4.5.5.2.2. Određivanje antioksidativne aktivnosti prema $DPPH^{\bullet}$ i $ABTS^{\bullet+}$ testu ... 90
4.5.5.2.3 HPLC analiza polifenolnih jedinjenja ... 90
4.5.5.2.4. Antihiperglikemijska aktivnost (proširen panel analiza) ... 91
4.5.5.2.5. Antihipertenzivna aktivnost ... 91
4.5.5.2.6. Antihiperholesterolemijska aktivnost ... 92
4.5.5.2.7. Određivanje minimalne inhibitorne koncentracije optimalne smeše ... 92
4.6. Statistička obrada podataka ... 92
4.6.1. Statistička obrada podataka pri odabiru optimalnog postupka sušenja za pojedinačni biljni uzorak ... 92
4.6.1.1. Modelovanje podataka primenom veštačke neuronske mreže (*eng*. ANN) ... 93

4.6.1.2. Standardne ocene 94

4.6.1.3. Analiza korelacija, klasterska analiza i analiza glavnih komponenti (*eng*. Principal Component Analysis, PCA)..... 95

4.6.2. Statistička obrada podataka za izbor optimalnog sastava smeše korenasto-krtolastih začinskih biljka 95

4.6.2.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) i korelaciona analiza 95

4.6.2.2. Standardne ocene (SS) 96

4.6.2.3. Modelovanje podataka primenom veštačke neuronske mreže (ANN)..... 96

5. REZULTATI I DISKUSIJA..... 98

5.1. Osnovni hemijski sastav korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja 99

5.2. Sastav masnih kiselina u uzorcima korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja..... 105

5.3. Analiza boje svežih i osušenih uzoraka..... 117

5.4. Mineralni sastav uzoraka korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja..... 120

5.5. Prinosi ekstrakata..... 128

5.6. Uticaj različitih postupaka sušenja na sadržaj polifenolnih jedinjenja u uzorcima 131

5.7. Uticaj različitih postupaka sušenja na antioksidativnu aktivnost uzoraka 136

5.8. Analiza korelacija 141

5.9. Klasterska analiza 142

5.10. Analiza glavnih komponenti..... 143

5.11. Standardne ocene 145

5.12. Modelovanje podataka primenom veštačkih neuronskih mreža 146

5.13. HPLC analiza indivudalnih polifenolnih jedinjenja u uzorcima..... 151

5.14. Antihiperglikemijska aktivnost uzoraka..... 158

5.15. Antibakterijska aktivnost uzoraka 161
5.16. Optimizacija formulacije smeše začinskog bilja 163
5.16.1. Osnovni hemijski sastav, vrednosti parametara boje i ocene senzorske usaglašenosti smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka 163
5.16.2. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost smeša 172
5.16.3. Statistička analiza 173
5.16.3.1. Standardne ocene smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka ... 173
5.16.3.2. Analiza korelacija između parametara antiokidativnosti i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta 175
5.16.3.3. Analiza glavnih komponenti (PCA) 175
5.16.3.4. ANOVA analiza polinomskog modela drugog reda antioksidativnih parametara, hemijskih parametara kvaliteta i kolorimetrijskih parametara smeša začinskog bilja 179
5.16.3.5. Modelovanje podataka primenom veštačkih neuronskih mreža 182
5.16.4. Antioksidativna aktivnost i HPLC analiza polifenolnih jedinjenja u optimalnoj formulaciji 188
5.16.5. Sastav masnih kiselina u uzorku CPT6 189
5.16.6. Mineralni sastav optimalne mešavine 194
5.16.7. Antimikrobna svojstva odabrane smeše korenasto-krtolastog začinskog bilja (CPT6) 196
5.16.8. Potencijal uzorka CPT6 za unapređenje zdravlja 199
5.16.9. Potencijal primene 201
6. ZAKLJUČAK 204
7. LITERATURA 210
8. PRILOG 236

SPISAK SLIKA

Slika 1. Koren celera 14
Slika 2. Koren peršuna 17
Slika 3. Rizom kurkume 19
Slika 4. Konvencionalni proces proizvodnje začina 22
Slika 5. Princip određivanja aktivnosti vode u namirnicama 26
Slika 6. Krive sušenja (a) sa lag fazom, (b) bez lag faze, (c) brzina sušenja u odnosu na vreme sušenja, (d) brzina sušenja u odnosu na sadržaj vlage 29
Slika 7. Tipovi solarnih sušnica 32
Slika 8. Fazni dijagram vode sa naznačenom trojnom tačkom 33
Slika 9. Struktura apigenina 45
Slika 10. Uticaj različitih postupaka sušenja (svež uzorak; sušenje u sušnici na 70 ˚C, 85 ˚C i 100 ˚C; mikrotalasno sušenje snagom 190 W, 375 W i 680 W; vakuum sušenje pri pritisku 500 mbar, 600 mbar i 700 mbar i temperaturi od 70˚C) na sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima celera (MT-mikrotalasno) 49
Slika 11. Šematski prikaz liofilizatora 56
Slika 12. Hemijske strukture važnih supstanci prisutnih u kurkumi 63
Slika 13. Faze eksperimentalnog rada 69
Slika 14. Sveži (kontrolni) i osušeni uzorci korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume 71
Slika 15. Prinos ekstrakata korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume 130
Slika 16. Klaster analiza uzoraka celera (zelena boja), peršuna (plava boja) i kurkume (crvena boja) prema razlikama u sadržaju polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola) i antioksidativnim testovima (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS} i FRAP) 142
Slika 17. PCA biplot dijagram, uzoraka celera (zelena boja), peršuna (plava boja) i kurkume (crvena boja), prikazuje odnose između sadržaja polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola) kao i antioksidativnih testova IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS} i FRAP. 144
Slika 18. Standardne ocene uzoraka 145

Slika 19. (a) Zavisnost vrednosti r^2 od broja neurona u skrivenom sloju u modelu veštačke neuronske mreže, (b) Tačnost učenja po epohi (tačnost učenja je predstavljena plavom linijom, dok je greška predstavljena crvenom linijom) 146
Slika 20. Eksperimentalne (target) i predviđene (output) vrednosti dobijene za (a) ukupne polifenole (TPh), (b) ukupne flavonoide (Tfl), (c) ukupne flavonole (Tflol), (d) ukupne flavan-3-ole (Tfl3ol), (e) IC_{50}^{ABTS}, (f) IC_{50}^{DPPH} i (g) FRAP 148
Slika 21. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka celera pre i nakon sušenja. 159
Slika 22. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka peršuna pre i nakon sušenja. 160
Slika 23. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka kurkume pre i nakon sušenja. 161
Slika 24. Intenzitet ključnih senzorskih atributa proizvoda za: (a) uzorke CO, CP9, CT8 i CP7; (b) uzorke TO, PT2, PO i CT5; i (c) uzorke CPT6 i PT3..... 169
Slika 25. Standardne ocene za različite uzorke smeša. TO - kurkuma, PT - mešavina peršuna/kurkume, PO - peršun, CT - mešavina celera/kurkume, CPT - mešavina celera, peršuna i kurkume, CO - celer 174
Slika 26. Biplot dijagram glavnih komponenti za uzorke smeša na osnovu njihovih antioksidativnih svojstava (TP, DPPH, ABTS i FRAP) i ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens). TO - kurkuma, PT - mešavina peršuna/kurkume, PO - peršun, CT - mešavina celera/kurkume, CPT - mešavina celera, peršuna i kurkume, CO - celer 176
Slika 27. Biplot dijagram glavnih komponenti za uzorke smeša na osnovu njihovih hemijskih svojstava (sirovi proteini, sirove masti, pepeo) i parametara boje (L*, a*, b*, C*, h). 178

SPISAK TABELA

Tabela 1. Tehnološka klasifikacija povrća 9
Tabela 2. Hemijski sastav korena celera 15
Tabela 3. Mineralni sastav korena celera 16
Tabela 4. Hemijski sastav korena peršuna 18
Tabela 5. Mineralni sastav korena peršuna 18
Tabela 6. Hemijski sastav rizoma kurkume 20
Tabela 7. Mineralni sastav rizoma kurkume 21
Tabela 8. Podela metoda sušenja prema složenosti principa rada 24
Tabela 9. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinih polifenolnih jedinjenja u korenu celera 43
Tabela 10. Pregled literaturnih podataka o antioksidativnoj aktivnosti korena celera 46
Tabela 11. Pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti korena celera .. 48
Tabela 12. Pregled postupaka i parametara sušenja korena celera 50
Tabela 13. Uticaj postupaka sušenja na pojedine karakteristike korena celera 51
Tabela 14. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna 53
Tabela 15. Sadržaj ukupnih polifenola, neflavonoida i flavonoida i antioksidativna aktivnost korena peršuna (mg/g sveže materije) 54
Tabela 16. Polifenolna jedinjenja (µg/g suvog ekstrakta) u korenu peršuna 55
Tabela 17. Uticaj različitih postupaka sušenja na boju korena peršuna 56
Tabela 18. Pregled literaturnih podataka o sadržaju ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i antioksidativnoj aktivnosti rizoma kurkume 59
Tabela 19. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u rizomu kurkume 61
Tabela 20. Pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti ekstrakta kurkume 64
Tabela 21. Pregled postupaka sušenja i odgovarajući parametri sušenja rizoma kurkume 66
Tabela 22. Sadržaj vlage i aktivnost vode u rizomu kurkume u zavisnosti od primenjenog postupka sušenja 66

Tabela 23. Uticaj različitih postupaka sušenja na parametre boje rizoma kurkume . 67
Tabela 24. Sastav kontrole, slepe probe kontrole, uzorka i slepe probe uzorka kod određivanja antihiperglikemijske aktivnosti 83
Tabela 25. Sastav smeša začinskog bilja definisan eksperimentalnim dizajnom 85
Tabela 26. Osnovni hemijski sastav korena celera pre i nakon sušenja 100
Tabela 27. Osnovni hemijski sastav korena peršuna pre i nakon sušenja 102
Tabela 28. Osnovni hemijski sastav rizoma kurkume pre i nakon sušenja..... 104
Tabela 29. Sastav masnih kiselina u uzorcima celera pre i nakon sušenja..... 107
Tabela 30. Sastav masnih kiselina u uzorcima peršuna pre i nakon sušenja 111
Tabela 31. Sastav masnih kiselina u uzorcima kurkume pre i nakon sušenja..... 115
Tabela 32. Parametri boje korena celera pre i nakon sušenja 117
Tabela 33. Parametri boje korena peršuna pre i nakon sušenja 118
Tabela 34. Parametri boje rizoma kurkume pre i nakon sušenja..... 120
Tabela 35. Mineralni sastav uzoraka celera pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm})..... 122
Tabela 36. Mineralni sastav uzoraka peršuna pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm}) ... 124
Tabela 37. Mineralni sastav uzoraka kurkume pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm})... 127
Tabela 38. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u korenu celera pre i nakon sušenja..... 131
Tabela 39. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u korenu peršuna pre i nakon sušenja 134
Tabela 40. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u rizomu kurkume pre i nakon sušenja 135
Tabela 41. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka korena celera pre i nakon sušenja 137
Tabela 42. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka korena peršuna pre i nakon sušenja 139
Tabela 43. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka rizoma kurkume pre i nakon sušenja..... 140
Tabela 44. Analiza korelacije sadržaja polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti..... 141
Tabela 45. Testovi za ispitivanje adekvatnosti modela i rezidualna analiza razvijenog ANN modela 149
Tabela 46. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u korenu celera pre i nakon sušenja 152

Tabela 47. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna pre i nakon sušenja 154
Tabela 48. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u rizomu kurkume pre i nakon sušenja 157
Tabela 49. Antimikrobna aktivnost uzoraka kurkume pre i nakon sušenja protiv *E. coli* i *S. aureus* 162
Tabela 50. Osnovni hemijski sastav, vrednosti parametara boje i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka.. 165
Tabela 51. Analiza korelacije ključnih senzorskih atributa i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta 171
Tabela 52. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost smeša 173
Tabela 53. ANOVA analiza polinomskog modela drugog reda antioksidativnih parametara, hemijskih parametara kvaliteta i kolorimetrijskih parametara 181
Tabela 54. Rezime ANN modela – prikaz performansi i detalja arhitekture za svaki MLP model 183
Tabela 55. Testovi za ispitivanje adekvatnosti modela i rezidualna analiza razvijenih ANN modela 187
Tabela 56. Antioksidativna aktivnost i sadržaj pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u uzorku CPT6..... 189
Tabela 57. Sastav masnih kiselina u uzorku CPT6 192
Tabela 58. Sadržaj mineralnih materija u smeši CPT6 196
Tabela 59. Minimalna inhibitorna koncentracija smeše CPT6 protiv različitih vrsta mikroorganizama 197
Tabela 60. Parametri povezani sa potencijalom uzorka CPT6 za unapređenje zdravlja 200

REZIME NA SRPSKOM JEZIKU

Sušenje predstavlja jednu od najčešće primenjivanih metoda konzervisanja hrane, a u slučaju prerade začinskih biljaka ima ključan uticaj na očuvanje njihove nutritivne vrednosti, bioaktivnih komponenti i senzorskih svojstava. Cilj ove doktorske disertacije bio je da se ispita uticaj različitih postupaka sušenja — sušenja na sobnoj temperaturi, konvektivnog sušenja na 60 °C i 90 °C, kao i liofilizacije — na fizičko-hemijske karakteristike i biološku aktivnost korena celera (*Apium graveolens*), korena peršuna (*Petroselinum crispum*) i rizoma kurkume (*Curcuma longa*). Korišćenjem hemometrijskih analiza i određivanjem sadržaja ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola, kao i procenom antioksidativnog potencijala (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS}, FRAP test) i kolorimetrijskih parametara, identifikovani su optimalni postupci sušenja: konvektivno sušenje na 90 °C za celer, te liofilizacija za peršun i kurkumu. Ovi rezultati poslužili su kao osnova za razvoj funkcionalne mešavine korenasto-krtolastih biljaka poboljšanih nutritivnih i senzorskih karakteristika. Mešavina sastavljena od jednakih udela korena celera, peršuna i kurkume (označena kao CPT6) izdvojila se kao optimalna formulacija, sa visokim sadržajem ukupnih polifenola (9,56 mg GAE/g), izraženim antioksidativnim kapacitetom (IC_{50}^{DPPH}=981,74 µg/mL, IC_{50}^{ABTS}=124,49 µg/mL, FRAP=103,35 µmol Fe^{2+}/g) i pozitivnim senzorskim profilom ocenjenim prosečnom ocenom 3,58 ("vrlodobar"). Uzorak CPT6 dodatno je pokazao značajna biofunkcionalna svojstva, uključujući snažnu inhibiciju aktivnosti enzima α-amilaze (72%) i α-glukozidaze (80%), kao i umerenu antihipertenzivnu (inhibicija ACE od 62%) i antihiperholesterolemijsku aktivnost (inhibicija HMG-CoA reduktaze od 55%). Na osnovu dobijenih rezultata, mešavina CPT6 pokazuje potencijal za primenu u svakodnevnoj ishrani ili prehrambenoj industriji, kao začin, funkcionalna čajna mešavina ili dodatak ishrani sa izraženim biološkim efektima i povoljnim uticajem na zdravlje potrošača.

REZIME NA ENGLESKOM JEZIKU

Drying is one of the most commonly applied food preservation techniques, with a particularly significant impact on the quality of spice processing. The primary aim of this doctoral dissertation was to investigate the effects of different drying methods — ambient air drying, convective drying at 60 °C and 90 °C, and freeze-drying — on the physicochemical properties and biological activity of celery root (*Apium graveolens*), parsley root (*Petroselinum crispum*), and turmeric rhizome (*Curcuma longa*). Using chemometric analyses, including quantification of polyphenolic compounds (total polyphenolics, flavonoids, flavonols, flavan-3-ols), antioxidant activity (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS}, FRAP), and colorimetric parameters, convective drying at 90 °C was determined to be optimal for celery, while freeze-drying was identified as the most suitable for parsley and turmeric samples. These findings served as the foundation for developing a functional blend of root vegetables with enhanced nutritional and sensory properties. A formulation composed of equal parts of celery, parsley, and turmeric (designated CPT6) emerged as optimal, exhibiting a high total polyphenolic content (9.56 mg gallic acid equivalents/g), significant antioxidant capacity (IC_{50}^{DPPH}=981.74 µg/mL, IC_{50}^{ABTS}=124.49 µg/mL, FRAP=103.35 µmol Fe^{2+}/g), and a favorable sensory profile rated as "very good" (average score: 3.58). Furthermore, CPT6 demonstrated promising biofunctional properties, including strong inhibitory activity against α-amylase (72%) and α-glucosidase (80%), moderate antihypertensive potential (62% ACE inhibition), and antihypercholesterolemic activity (55% inhibition of HMG-CoA reductase). Based on these results, the CPT6 mixture holds strong potential for application in everyday diets or the food industry, either as a seasoning, tea blend, or functional food ingredient with marked biological activity and beneficial health effects.

1. UVOD

Povrće obuhvata širok spektar biljnih vrsta, među kojima dominiraju jednogodišnje u odnosu na dvogodišnje biljke. Njihovi jestivi delovi, uključujući listove, stabljike, cvetove, cvasti, plodove, koren i seme, predstavljaju značajan segment ljudske ishrane. Brojna istraživanja potvrđuju da redovan unos povrća ima pozitivan uticaj na ljudsko zdravlje, dok njegovo odsustvo iz ishrane može imati negativne posledice, naročito po metaboličke i kardiovaskularne funkcije. Upravo zbog toga, povrće se danas smatra ključnom komponentom tzv. uravnotežene ishrane. Epidemiološki podaci ukazuju na to da adekvatan dnevni unos voća i povrća značajno doprinosi smanjenju rizika od razvoja hroničnih nezaraznih bolesti, uključujući gojaznost, dijabetes tipa 2, hipertenziju i određene maligne bolesti. Određene vrste povrća koje se odlikuju izraženim prijatnim mirisom i aromom često se koriste i u funkciji začina. Od davnina je poznato da začinske biljke imaju važnu ulogu u svakodnevnoj ishrani velikog broja ljudi, pri čemu se njihova upotreba najčešće odnosi na poboljšanje senzorskih svojstava jela — bilo tokom termičke obrade ili kao dodatak gotovim jelima. Jedan od ključnih postupaka u procesu prerade i konzervisanja začinskih biljaka jeste sušenje, koje se sprovodi različitim konvencionalnim termičkim i netermičkim postupcima.

U prehrambenoj industriji, najzastupljenija metoda jeste konvektivno sušenje u struji toplog vazduha, koja se primenjuje zbog svoje ekonomske efikasnosti i brzine obrade. S druge strane, liofilizacija (sušenje zamrzavanjem) predstavlja najpoznatiju netermičku tehniku, naročito kada je očuvanje bioaktivnih komponenti prioritet. Takođe, u tropskim oblastima tradicionalno se koristi direktno sušenje na suncu odnosno sušenje u senci (u otvorenom prostoru), zahvaljujući jednostavnosti i niskim troškovima implementacije. Prema tehnološkoj klasifikaciji, biljke poput celera (*Apium graveolens* L.), peršuna (*Petroselinum crispum* L.) i kurkume (*Curcuma longa* L.) svrstavaju se u grupu korenasto-krtolastog povrća. Celer i peršun pripadaju familiji Apiaceae, dok kurkuma pripada familiji Zingiberaceae. Sve tri vrste imaju značajnu nutritivnu i funkcionalnu vrednost. Celer se koristi u celosti (listovi, stabljika i koren), a poznat je kao bogat izvor antioksidanata, dijetetskih vlakana i esencijalnih minerala. Peršun se najčešće koristi zbog svojih listova i korena, koji pored kulinarske uloge, ima i izraženo diuretičko dejstvo. Kurkuma, poreklom iz Indije, koristi se najčešće u formi sušenog rizoma, koji je bogat bioaktivnim komponentama poput kurkuminoida,

flavonoida i drugih antioksidanata, a pokazuje antiinflamatorna, antibakterijska i antiseptička svojstva.

U prvoj fazi ovog istraživanja, cilj je bio da se ispita i uporedi uticaj različitih postupaka sušenja na bioaktivne i fizičko-hemijske osobine korena celera i peršuna, kao i rizoma kurkume. Ispitani su sledeći postupci: sušenje u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi, konvektivno sušenje na 60 °C i 90 °C i liofilizacija. Na osnovu dobijenih rezultata, uz primenu odgovarajućih statističkih metoda, identifikovan je optimalan postupak sušenja za svaki biljni uzorak pojedinačno. U drugoj fazi istraživanja, dobijeni optimalni uzorci korišćeni su u formulisanju inovativnog funkcionalnog proizvoda, čiji je cilj bio da se, dodatkom kurkume, poboljša nutritivna vrednost i senzorski profil mešavine korena celera i peršuna, a koji se tradicionalno koriste u kulinarskoj praksi na Balkanu. Korišćenjem simplex-lattice eksperimentalnog dizajna i multivarijantnih statističkih metoda, ispitano je više formulacija sa ciljem identifikacije optimalne kombinacije. Nakon odabira finalne formulacije, sprovedene su detaljne analize njenog hemijskog sastava i biološke aktivnosti, sa fokusom na antioksidativna svojstva i potencijalne zdravstvene benefite.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Opšti cilj ovog istraživanja je da se ispitaju uticaji različitih tehnoloških postupaka sušenja na hemijski sastav, bioaktivna svojstva i boju korenasto-krtolastih biljaka (celera, peršuna i kurkume), kao i da se na osnovu dobijenih rezultata formuliše funkcionalni proizvod sa prihvatljivim senzorskim profilom i poboljšanim nutritivnim i zdravstvenim potencijalom.

Da bi se realizovala osnovna hipoteza ovog naučnoistraživačkog rada, postavljeni su sukcesivni koraci nužni za ostvarivanje primarnog cilja:

- Ispitati uticaj različitih metoda sušenja (sušenje u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi, konvektivno sušenje na 60 °C i 90 °C i liofilizacija) na sadržaj ukupnih polifenolnih jedinjenja, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola, antioksidativnu aktivnost, sadržaj vlage, pepela, boju i drugih osnovnih fizičko-hemijskih parametara;
- Statistički obraditi rezultate i odrediti optimalne uslove sušenja za svaki biljni uzorak pojedinačno, uz primenu višekriterijumskog odlučivanja i metoda optimizacije;
- Na osnovu optimizovanih uzoraka razviti inovativnu mešavinu funkcionalnog začina korišćenjem simplex-lattice dizajna, uz analizu međusobnog uticaja pojedinačnih biljnih komponenti na ukupna senzorska i antioksidativna svojstva;
- Ispitati hemijski sastav i biološku aktivnost odabrane formulacije finalnog proizvoda, sa posebnim osvrtom na biološki potencijal i zdravstvene benefite;
- Evaluirati potencijal nove mešavine kao funkcionalnog dodatka ishrani, naročito u kontekstu tradicionalne kuhinje Balkanskog poluostrva.

S obzirom na postavljene ciljeve, očekuje se da će realizacija istraživanja doprineti boljem razumevanju uticaja različitih tehnoloških postupaka sušenja na fizičko-hemijska svojstva i bioaktivne komponente tri značajne aromatične biljne vrste: korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume. Pretpostavlja se da će postupci sušenja imati različit efekat na očuvanje nutritivno vrednih sastojaka pri čemu će, nakon obrade rezultata provedenih analiza, biti omogućen izbor optimalnog postupka sušenja za svaku biljnu vrstu pojedinačno.

Kroz poređenje biohemijskih osobina pojedinačnih biljaka očekuje se potvrda da kurkuma, zahvaljujući svom bogatom sadržaju polifenolnih jedinjenja, flavonoida i drugih antioksidanata, ima najizraženiji biološki potencijal, te da će zajedno sa celerom i peršunom upotpuniti njihov nutritivni i senzorski profil. Kombinovanjem ovih biljaka kroz optimizovani formulacioni pristup predviđa se razvoj inovativnog funkcionalnog proizvoda koji integriše nutritivne i senzorske prednosti svih sirovina. Na osnovu eksperimentalnih podataka i primenom matematičkih alata očekuje se formulisanje optimalne kombinacije biljnih uzoraka koja zadovoljava kriterijume nutritivne vrednosti, prehrambene navike potrošača na našem prostoru, senzorske prihvatljivosti i biološke aktivnosti. Detaljna karakterizacija finalnog proizvoda treba da potvrdi njegov potencijal kao funkcionalnog dodatka ishrani, sa naglaskom na njegov antioksidativni i nutritivno-zaštitni efekat.

Naučni doprinos ovog istraživanja ogleda se u više aspekata. Pre svega, ono pruža originalne podatke o uticaju konkretnih metoda sušenja na očuvanje bioaktivnih komponenti u korenasto-krtolastim začinskim biljkama, što je do sada bilo nedovoljno istraženo u domaćem i regionalnom kontekstu. Takođe, razvijen je funkcionalni prehrambeni proizvod koji se oslanja na tradicionalne sirovine karakteristične za područje Balkana, ali ih nadograđuje savremenim znanjima iz oblasti prehrambene tehnologije i funkcionalne ishrane. Rezultati istraživanja mogu biti primenjeni u industriji začina, funkcionalne hrane i dodataka ishrani, čime se otvara prostor za dalje inovacije u formulisanju proizvoda sa unapređenim zdravstvenim karakteristikama. Na širem planu, istraživanje doprinosi interdisciplinarnom povezivanju oblasti tehnologije hrane, nutricionizma i hemije prirodnih proizvoda, sa potencijalom da doprinese i promociji zdravih prehrambenih navika u populaciji.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Povrće

Povrće predstavlja raznovrsnu grupu biljnih vrsta koje se gaje i koriste prvenstveno zbog svojih jestivih delova, kao što su listovi, stabljike, cvetovi, plodovi, koren, krtola, lukovice ili seme. U poređenju sa drugim biljnim kulturama, povrće zauzima posebno mesto u ljudskoj ishrani, jer je bogat izvor esencijalnih nutrijenata, vitamina, minerala, dijetetskih vlakana, antioksidanata i drugih bioaktivnih jedinjenja sa potencijalno zaštitnim delovanjem na zdravlje. Zahvaljujući niskoj energetskoj vrednosti i visokom sadržaju korisnih mikronutrijenata, povrće je nezamenjiv deo uravnotežene i funkcionalne ishrane. Redovan unos svežeg i termički obrađenog povrća povezuje se sa smanjenjem rizika od hroničnih nezaraznih bolesti kao što su gojaznost, dijabetes tipa 2, hipertenzija, kardiovaskularna i maligna oboljenja. Osim nutritivne vrednosti, povrće doprinosi i senzorskoj raznovrsnosti obroka, obezbeđujući boju, aromu, teksturu i specifičan ukus hrane (Boeing i sar., 2012; Butnariu i Butu, 2015; Knez i sar., 2022).

Povrće se može klasifikovati prema različitim kriterijumima, a najčešći oblici klasifikacije uključuju: botaničke karakteristike, teksturalnu tvrdoću, prema iskoristivim organima i delovima biljke koji se koriste u ishrani (npr. list, koren, plod, stabljika), dužini životnog ciklusa (jednogodišnje, dvogodišnje i višegodišnje vrste), termalnim zahtevima (optimalna temperatura za klijanje, rast i razvoj), kao i fotoperiodičnim osobinama, tj. količini svetlosti potrebnoj za uspešan razvoj i indukciju cvetanja (Gopalakrishnan, 2007). Botanička klasifikacija povrća sprovodi se na osnovu taksonomskih karakteristika različitih povrtlarskih kultura. Carstvo biljka je podeljeno u četiri podcarstva: Thallophyta, Bryophyta, Pteridophyta i Spermatophyta. Povrće pripada diviziji Angiospermae podcarstva Spermatophyta, a koje je kasnije podeljeno na dve klase: monokotiledone i dikotiledone (Gopalakrishnan, 2007). Klasifikacija povrća na bazi tvrdoće bazirana je na osnovu njihove stabilnosti prema mrazu i niskim temperaturama, pri čemu su klasifikovani, kao tvrdo, polutvrdo i meko povrće. Tvrdo povrće može tolerisati mraz i niske temperature i uglavnom se uzgaja u zimskoj ili hladnoj sezoni. Povrće koje se uzgaja u letnjoj, toploj sezoni ili suptropskim i tropskim krajevima označeno je kao mekano povrće, te su neotporni na niske temperature i mraz. Tvrdo povrće može se skladištiti duži vremenski period na niskim temperaturama, dok je meko povrće više kvarljivo (Gopalakrishnan, 2007).

Tehnološka klasifikacija povrća zasniva se na organima i delovima biljaka koji se koriste u ljudskoj ishrani. Ovakva podela omogućava jednostavnije planiranje tehnoloških procesa proizvodnje, prerade, čuvanja i distribucije povrća. Na osnovu ovog kriterijuma, povrće se svrstava u sedam osnovnih grupa: semensko i plodoliko povrće, glavičasto, lisnato, povrće izdanci, lukovičasto, korenasto-krtolasto, te gljive i šampinjone. Svaka od ovih grupa obuhvata karakteristične vrste koje se međusobno razlikuju po morfološkoj građi, načinu upotrebe i potrebama u tehnološkom tretmanu. Prikaz klasifikacije dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Tehnološka klasifikacija povrća (Grubačić, 2012)

Klasifikacija povrća	Vrsta povrća
Semensko i plodoliko povrće	Grašak, boranija, patlidžan, krastavac, paprika
Glavičasto povrće	Kupus, kelj, karfiol
Lisnato povrće	Spanać, salata
Povrće izdanci	Špargla
Lukovičasto povrće	Crni i beli luk, praziluk
Korenasto-krtolasto povrće	Cvekla, šargarepa, celer, peršun, krompir
Gljive i šampinjoni	Sve vrste jestivih gljiva

Pod životnim ciklusom biljke podrazumeva se razdoblje od početka rasta pa do potpunog formiranja i sazrevanja reproduktivnih organa, tj. semena. Na osnovu ove vrste klasifikacije, povrće se može podeliti na jednogodišnje vrste (životni ciklus započinje i završava u toku jedne vegetacione sezone), dvogodišnje vrste (ciklus razvića traje dve godine) i višegodišnje vrste (Radovich, 2018). Na osnovu klasifikacije optimalnih temperatura rasta, povrće se može podeliti na useve prohladne sezone (najbolje rastu kada je vreme prohladno) i useve tople sezone (dobro podnose visoke temperature) (Radovich, 2018). Sa druge strane, klasifikacijom na osnovu potrebne količine svetlosti (fotoperioda), povrće se može podeliti na povrće kratkog dana (za cvetanje potrebno obično 8-10 sati svetla), povrće dugog dana (za cvetanje potrebno obično 14-16 sati svetla) i neutralno povrće (cvetaju nezavisno od količine svetlosti) (Lanzes i sar., 2023).

3.2. Korenasto-krtolasto povrće

Predstavnici korenasto-krtolastog povrća imaju prilično slične nutritivne karakteristike. Predstavljaju dobar izvor vlakana (1,6–7,3g/100g). Isto tako, karakteriše ih niska energetska vrednost (16–81 kcal/100g) zbog visokog sadržaja vode (75,0–95,4%). Jedna od njihovih najvažnijih karakteristika je visok sadržaj bioaktivnih jedinjenja, kao što su polifenoli. Štaviše, bogati su vitaminom C zbog čega se korenasto-krtolasto povrće može smatrati biofunkcionalnom hranom. Određeno korenasto-krtolasto povrće karakteriše prisustvo jedinjenja specifičnih za njih (Knez i sar., 2022). Količina i vrsta hranljivih materija koja će se uneti u organizam, zavisi upravo od jestivog dela biljke. Tako na primer, krtole su bogate skrobom, ali imaju malo vitamina; korenje i stabljike su bogati vlaknima (celulozom i hemicelulozom), ali ne sadrže vitamin C; lisnato povrće je veoma bogato vitaminom C, magnezijumom, hlorofilom i karotenoidima, dok su cvetovi, koji se retko konzumiraju kao takvi (npr. karfiol), bogati vitaminom K i vitaminima B-kompleksa (Butnariu i Butu, 2015).

Sadržaj ugljenih hidrata u biljci varira od vrste. Tako na primer, šargarepa, cvekla, celer i krompir sadrže saharozu, skrob i celulozu. Glukoza se retko unosi u organizam u obliku monosaharida, ali je utvrđeno da se u slobodnom stanju nalazi u šargarepi. Fruktoza takođe ulazi u sastav povrća, a njen sadržaj je između 1% i 7%. Oligosaharid inulin je prirodni polimer fruktoze, a biljci služi kao oblik skladištenja ugljenih hidrata. Saharoza se nalazi u velikim količinama u nezrelom povrću, ali se njena količina smanjuje kako voće sazreva, kada biva zamenjena glukozom i fruktozom (Butnariu i Butu, 2015; Yahia i sar., 2019).

Lipidi su u povrću prisutni u malim količinama (osim u uljaricama). Među zasićenim masnim kiselinama, dominiraju palmitinska, miristinska i stearinska kiselina. Od mononezasićenih masnih kiselina preovlađuje oleinska kiselina. Sadržaj proteina većine vrsta povrća kreće se u opsegu od 0,5% do 1,5%. Povrće sadrži minerale, uglavnom kalijum (K), kalcijum (Ca), magnezijum (Mg), fosfor (P), kao i mikroelemente (gvožđe (Fe), hrom (Cr), bakar (Cu), jod (I), fluor (F), cink (Zn), molibden (Mo) i selen (Se)), koji se apsorbuju iz zemljišta zajedno sa vodom. Mineralni sadržaj korenasto-krtolastog povrća varira u zavisnosti od vrste, zrelosti,

klime, zemljišta i uslova uzgoja. Povrće sa visokim sadržajem natrijuma su rotkva, celer, šargarepa, cvekla. Kalijum je uglavnom prisutan u obliku soli karbonatne i organskih kiselina rastvorljivih u vodi i želudčanom soku. Zbog visokog sadržaj vode i kalijuma, povrće ima i diuretički efekat (Butnariu i Butu, 2015).

Visok sadržaj vitamina C u povrću čini gvožđe dostupnijim za apsorpciju u oganizmu, čak i za povrće sa nižim sadržajem gvožđa (šargarepa, krompir). Neko povrće sadrži i antinutritivne supstance, koje inhibiraju ili inaktiviraju fitohemikalije (vitamine i minerale) i nazivaju se antivitaminskim i antimineralnim supstancama. Od antivitaminskih supstanci poznata je askorbat-oksidaza, enzim koji u prisustvu kiseonika oksidiše vitamin C prvo u dehidroaskorbinsku kiselinu (aktivnu) i na kraju u 2,5-diketoglukonsku kiselinu. Antimineralne supstance uključuju fitinsku i oksalnu kiselinu, koje vežu kalcijum, magnezijum i/ili gvožđe u nerastvorljive komplekse, onemogućavajući njihovu apsorpciju i iskorišćavanje u ljudskom organizmu. Druge antinutritivne supstance su neke neproteinogene supstance, npr. inhibitor tripsina (Butnariu i Butu, 2015; Doseděl i sar., 2021; Samtiya i sar., 2020).

3.2.1. Eterična ulja – izvor aromatičnih komponenti u korenasto-krtolastom povrću

Začini su grupa prehrambenih proizvoda koji se koriste hiljadama godina u ljudskoj ishrani radi poboljšanja senzorskog kvaliteta hrane. Zemlje u tropskim krajevima sveta su naročito bogate raznolikim biljnim vrstama koje se koriste za ovu namenu. Pojedini sastojci začinskih biljaka daju karakterističnu ukus, aromu ili pikantnost i boju hrani, dok neki začini takođe mogu da modifikuju i teksturu hrane. Uobičajeno je i da njihova intenzivna aroma podstiče apetit. Ipak, aromatična svojstva začina potiču od eteričnih ulja i isparljivih jedinjenja, koji određuju finoću i originalnost začina.

Koren peršuna u mnogim zemljama se koristi kao začin. Sadržaj i sastav eteričnog ulja u peršunu, kao začinske biljke, je od primarnog značaja. Eterično ulje je prisutno u svim delovima ove biljke. Ipak, njegov sadržaj i sastav su različiti. Kod peršuna, i koren i listovi se koriste kao začini, iako sadrže manje eteričnog ulja od semena. Glavne komponente eteričnog ulja dobijenog iz korena peršuna su apiol, miristicin, β-felandren, β-pinen, β-mircen, 1,3,8-*p*-mentatrien, trans-β-farnezen, terpinolen, limonen ili falkarinol koji određuju ukus i aromu peršuna. Dominantna komponenta

eteričnog ulja korena peršuna je apiol, ali može biti i miristicin ili β-pinen (Gruszecki i Walasek-Janusz, 2022). Takođe, i koren celera sadrži aromatične materije, ali u manjoj meri u odnosu na stabljiku i listove, i to u iznosu od 0,1% (hidrodestilacijom) ili 0,5% (ekstrakcijom po *Soxhlet*-u). U eteričnom ulju identifikovane su 24 komopnente, a od ovih komponenti najdominantniji su ftalidi (57,7%) i to Z-3-butilideneftalid, a potom 3-n-butilftalid. Potom po sadržaju slede terpeni (31,5%) (α-tujen 12,4%, γ-terpinen 5,2%, β-selinen 8,9%), zatim polifenolna jedinjenja (1,7%) i eugenol (1,1%). Sadržaj apiola najviši je u korenu celera i iznosi 1,7% (Sellami i sar., 2012).

Rizomi kurkume predstavljaju bogat izvor kurkuminoida i eteričnih ulja. S jedne strane, kurkuminoidi su odgovorni za karakterističnu narandžasto-žutu boju rizoma. Njihov sadržaj u rizomu *C. longa* može varirati u zavisnosti od mnogih faktora, kao što su sorta i mesto uzgoja, kao i uslovi uzgoja i obrade nakon branja. Zbog ovih sekundarnih metabolita, kurkuma se obično koristi u prehrambenoj industriji kao začin i aditiv koji daje boju i ukus jelima. S druge strane, eterično ulje sa svojim hemijskim sastavom daje rizomu kurkume poseban i aromatičan ukus. Generalno, seskviterpeni su dominantna fitohemijska jedinjenja prisutna u ulju rizoma kurkume. Aromatični (ar-), α- i β-turmeroni su obično glavne i najreprezentativnije komponente eteričnog ulja, iako brojni unutrašnji i spoljašnji faktori mogu uticati na njihov kvalitet i količinu (Ibáñez i Blázquez, 2021).

Začini se ne koriste samo pojedinačno, već i u obliku mešavina začina tako da odgovaraju različitim ukusima i jelima. Pored toga, odavno je poznato da začini ispoljavaju i lekovita svojstva, odnosno mogu da deluju kao tonici, karminativi, antispazmodici, antihelmintici i drugo (Shelef i sar., 1980).

3.2.2. Kvalitet začina

Istorijski gledano, začini su uvek imali visoku tržišnu cenu i iz tog razloga bili su podložni različitim malverzacijama i falsifikovanju. Kao posledica toga, rano su razvijeni standardi kojima su propisani uslovi koji ovi proizvodi moraju ispuniti u pogledu kvaliteta. Tako je 1180. godine u Engleskoj, u vreme vladavine Henrija II, u Londonu osnovan esnaf „paprika“ čiji je zadatak bio da postavi i sprovodi standarde za začine. Danas su dva glavna međunarodna standarda donesena od strane Sedinjenih američkih država (SAD) i Evropske unije (EU). Standardi koji se primenjuju u onim zemljama odgovornim za uzgoj bilja i začina moraju biti usklađeni sa standardima zemalja uvoznica. Postoje različiti parametri kojima se utvrđuje kvalitet začina, a koji su propisani međunarodnim standardima, a to su: čistoća, sadržaj pepela i pepela nerastvorljivog u kiselini, sadržaj isparljivih ulja, sadržaj vlage, aktivnost vode (nivo od 0,6 je opšte prihvaćen kao vrednost ispod koje ne može doći do rasta mikroorganizama), mikrobiološki parametri, sadržaj pesticida, nivo mikotoksina, nasipna gustina (nasipni indeks). Pored opštih parametara kvaliteta začinskih biljaka, postoje i specifični parametri kvaliteta definisani za određene začinske biljke. Neki od ovih parametara su, na primer: nivo piperina koji se provodi za utvrđivanje kvalieteta biljnih vrsta iz roda *Piper*, boja koja se koristi kao indikator kvaliteta za začinsku papriku, sadržaj kapsaicina koji je glavni sastojak biljnih vrsta roda *Capsicum*, sadržaj kurkumina koji je specifičan za kurkumu, nedozvoljene boje koje se ponekad nezakonito dodaju začinima kao što su čili, kasija, komorač, paprika, šafran i zvezdasti anis da bi se poboljšao njihov fizički izgled, a time i vrednost. Prisustvo nedozvoljenih boja može se proceniti HPLC analizom (Clemenson i sar., 2012).

3.2.3. Hemijski sastav i nutritivne karakteristike odabranih začinskih korenasto-krtolastih biljaka

3.2.3.1. Celer (*Apium graveolens* L.)

Celer (*Apium graveolens* L.) je povrće koje pripada familiji Apiaceae, a može da se uzgaja kao dvogodišnja ili kao jednogodišnja biljka. Jestivi delovi ove biljke su stabljika, lišće i koren (slika 1). Tradicionalno se uzgaja u južnoj Evropi, Aziji, Africi, Severnoj i Južnoj Americi. Može narasti do visine od 30 do 40 centimetara. Seme celera je veoma sitno, oko 1,3 mm dužine, smeđe boje, jajolikog oblika i grebenaste površine. Često se upotrebljava kao začin jer ima prijatan karakterističan miris i blago oštar ukus. Kao dodatak hrani, celer se koristi u različitim oblicima: u svežem obliku ili osušen (stabljika, lišće, koren, seme), ulje od semena (Sowbhagya, 2014). Postoje tri glavne podvrste celera i to: lisnati celer (*Apium graveolens* L. subsp. *secalinum*), celer rebraš (*Apium graveolens* L. subsp. *dulce*) i korenasti celer (*Apium graveolens* L. subsp. *rapaceum*). Celer rebraš i korenasti celer se često konzumiraju širom sveta, dok se lisnati celer ili, kako se još naziva, kineski celer najčešće gaji i konzumira u zemljama istočne Azije (Turner i sar., 2021).



Slika 1. Koren celera (preuzeto sa: https://chicago.suntimes.com)

Od jedinjenja koja se mogu pronaći u celeru, mogu se pomenuti ugljeni hidrati, polifenoli kao što su flavonoidi, alkaloidi i steroidi. Prisustvo jedinjenja kao što su limonen, selin, furokumarinski glikozidi, flavonoidi i vitamini A i C odgovor su na pitanje zašto se celer koristi u tradicionalnoj medicini. Glavno flavonoidno jedinjenje celera je apigenin. Apigenin se smatra fitoestrogenom zbog svojih farmakoloških i bioloških karakteristika. Konzumiranjem celera pomaže se u lečenju kardiovaskularnih bolesti, žutice, bolesti jetre, urinarnog trakta, gihta i reumatskih poremećaja. Takođe, smatra se da celer smanjuje nivo glukoze i lipida u krvi te krvni pritisak.

Eksperimentalne studije pokazuju da celer ima antifungalna i antiinflamatorna svojstva. Dodatno, eterično ulje celera pokazuje i antibakterijsko dejstvo. Pokazano je da seme celera pomaže u lečenju bronhitisa, astenopije, astme, groznice, tumora i hroničnih kožnih oboljenja, uključujući psorijazu. Koren celera deluje i kao diuretik, a koristi se i za lečenje grčeva (Kooti i Daraei, 2017). Hemijski sastav korena celera prikazan je u tabeli 2.

Tabela 2. Hemijski sastav korena celera (Knez i sar., 2022)

Parametar	**Sadržaj (%)**
Vlaga	88,0
Proteini	1,5
Masti	0,3
Ugljeni hidrati	9,2
Vlakna	1,8

Voda je najzastupljenija komponenta korena celera (88%), što doprinosi njegovoj niskoj kaloričnoj vrednosti. Od makromolekula dominiraju ugljenihidrati (9,2%), dok su proteini i vlakna zastupljeni u manjim količinama (1,5% i 1,8%, respektivno). Koren celera sadrži i nizak procenat masti (0,3%) (Knez i sar., 2022). Mineralni sastav korena celera prikazan je u tabeli 3.

Tabela 3. Mineralni sastav korena celera (Knez i sar., 2022)

Mineral	Sadržaj (mg/100g)
Kalcijum (Ca)	43,0
Gvožđe (Fe)	0,7
Magnezijum (Mg)	20,0
Fosfor (P)	115,0
Kalijum (K)	300,0
Natrijum (Na)	100,0
Cink (Zn)	0,33
Bakar (Cu)	0,07
Selen (Se)	0,7

Najzastupljeniji minerali u korenu celera su kalijum, natrijum i fosfor u iznosima od 300, 100 i 115 mg/100g, respektivno, dok su kalcijum i magnezijum prisutni u značajno nižim koncentracijama (43 i 20 mg/100g, respektivno). Od analiziranih mikroelemenata, najdominantniji su gvožđe (0,7 mg/100g), selen (0,7 mg/100g) i cink (0,33 mg/100g), a pronađen je i bakar u koncentraciji od 0,07 mg/100g (Knez i sar., 2022).

3.2.3.2. Peršun (*Petroselinum crispum*)

Peršun (*Petroselinum crispum*) je vrsta korenasto-krtolastog povrća koja se uglavnom koristi kao kulinarska aromatična biljka za poboljšanje senzorskih karakteristika hrane. Kao i druge aromatične biljke, peršun pokazuje antioksidativne, antiinflamatorne, antimikrobne i antikancerogene aktivnosti. Bioaktivna jedinjenja, posebno polifenolna jedinjenja, glavni su nosioci pomenutih aktivnosti, uglavnom zbog svojih bioloških efekata kao što su inhibicija slobodnih radikala i ćelijske proliferacije. Svi delovi biljke peršuna: list, stabljika i koren (slika 2), bogati su različitim fitonutrijentima. *P. crispum* var. *tuberosum* se gaji kao korenasto-krtolasto povrće. Uobičajeno je poznat kao „hamburški peršun“ ili „peršun od repe“. Ova vrsta peršuna proizvodi mnogo deblje korenje od vrsta koje se gaje zbog listova, sa korenom koji je čak 6 puta veći (Agyare i sar., 2017; Dobričević i sar., 2019).



Slika 2. Koren peršuna (preuzeto sa: https://www.fellow.dog/ingredient/parsley-root)

Od polifenolnih jedinjenja mogu se izdvojiti flavonoidi od kojih su uglavnom prisutni flavoni apigenin, krizin i luteolin; vitamini od kojih je najzastupljeniji vitamin C (peršunov list je jedan od najbogatijih prirodnih izvora vitamina C) i vitamin E; od minerala: kalijum, fosfor, magnezijum, kalcijum; i takođe isparljiva jedinjenja (sastojci eteričnog ulja) od kojih su dominantni α-pinen, β-pinen, mircen, β-felandren, 1,3,8-*p*-mentatrien i miristicin pronađeni u listu i semenu (Dobričević i sar., 2019).

Hemijski sastav korena peršuna prikazan je u tabeli 4. Slično kao kod korena celera, i koren peršuna sadrži visok procenat vlage (85,3%). Po sadržaju potom slede ugljeni hidrati sa udelom od 10,5%. U odnosu na ugljene hidrate, sadržaj proteina i vlakana je značajno niži i iznosi 2,6% i 4,2%, respektivno. Od svih pomenutih klasa jedinjenja, sadržaj masti je najniži i iznosi 0,5% (Knez i sar., 2022).

Prema autorima Petropoulos i saradnici (2022) najdominantnija masna kiselina u korenu peršuna bila je linolna (C18:2 n6) sa koncentracijom u opsegu od 47,9-57,1% (u zavisnosti od sorte), dok su vrednosti linolenske kiseline (C18:3 n3) varirale između 5,12% i 9,63%, što ukazuje na visok sadržaj esencijalnih polinezasićenih masnih kiselina. Od mononezasićenih kiselina, oleinska kiselina (C18:1 n9) je bila dominantna (5,57-10,43%). Od zasićenih masnih kiselina, palmitinska (C16:0) je bila najzastupljenija, sa koncentracijama u opsegu od 20,66% do 26,50%, dok su ostale

zasićene masne kiseline poput stearinske (C18:0), behenske (C22:0) i lignocerinske (C24:0) bile prisutne u znatno manjim količinama. Prema istom istraživanju ukupan sadržaj zasićenih masnih kiselina kretao se od 25,70% do 35,57%, mononezasićenih od 6,03% do 10,90% , a polinezasićenih od 56,7% do 66,5%.

Tabela 4. Hemijski sastav korena peršuna (Knez i sar., 2022)

Parametar	**Sadržaj (%)**
Vlaga	85,3
Proteini	2,6
Masti	0,5
Ugljeni hidrati	10,5
Vlakna	4,2

Mineralni sastav korena peršuna prikazan je u tabeli 5. Prema autorima Knez i saradnici (2022), najzastupljeniji mineral u korenu peršuna jeste kalijum (339 mg/100g), a potom po sadržaju slede fosfor (77 mg/100g) i natrijum (49 mg/100g).

Tabela 5. Mineralni sastav korena peršuna (Knez i sar., 2022)

Mineral	**Sadržaj (mg/100g)**
Kalcijum (Ca)	43,0
Gvožđe (Fe)	1,1
Magnezijum (Mg)	27,0
Fosfor (P)	77,0
Kalijum (K)	339,0
Natrijum (Na)	49,0
Cink (Zn)	0,6
Bakar (Cu)	0,14
Selen (Se)	ND

Napomena: ND – nije detektovano

Kalcijum je prisutan u nešto manjoj količini u odnosu na natrijum i to u iznosu od 43 mg/100g. U korenu peršuna pronađeni su i pojedini mikroelementi, kao što su: gvožđe (1,1 mg/100g), cink (0,6 mg/100g) i bakar (0,14 mg/100g), dok selen nije detektovan.

3.2.3.3. Kurkuma (*Curcuma longa* L.)

Kurkuma (*Curcuma longa* L.) je višegodišnja biljka sa kratkim stablom, a koja može narasti i do 1 metar u visinu. Rasprostranjena je u tropskim i suptropskim regijama, a široko se uzgaja u azijskim zemljama, uglavnom u Indiji i Kini. Zbog svoje karakteristične arome, kao prah često se koristi u vidu začina, a takođe pozitvno utiče i na proces varenja. U tradicionalnoj indijskoj medicini njezin prah se koristi u lečenju žučnih poremećaja, anoreksije, kašlja, dijabetičkih rana, poremećaja jetre, reumatizma i sinusitisa (Araújo i Leon, 2001). Izgled rizoma kurkume prikazan je na slici 3.



Slika 3. Rizom kurkume (preuzeto sa: https://img.freepik.com/)

Kao što se može videti iz podataka prikazanih u tabeli 6, najdominantniji sastojak rizoma kurkume jeste voda koja je zastupljena u količini od 84,25%. Od makromolekula, po sadržaju, slede ugljeni hidrati sa udelom od 9,10%, zatim proteini 1,20% i masti 1,08%. Sadržaj pepela, odnosno neorganske materije nakon spaljivanja, iznosi 0,66%, dok sadržaj sirovih vlakana iznosi 0,72%. pH vrednost rizoma kurkume iznosi 5,7, što ukazuje na blago kisela svojstva rizoma, na šta upućuje i niska vrednost kiselosti (0,70%) (Mane i sar., 2018).

Tabela 6. Hemijski sastav rizoma kurkume (Mane i sar., 2018)

Parametar	Sadržaj (%)
Vlaga	84,25±0,23
Masti	1,08±0,13
Ugljeni hidrati	9,10±0,10
Ukupni proteini	1,20±0,07
Pepeo	0,66±0,01
Sirova vlakna	0,72±0,03
pH	5,7±0,28
Kiselost	0,70±0,01

U svom istraživanju, Mane i saradnici (2018) su analizirali sadržaj nekoliko mineralnih materija u rizomu kurkume. Ustanovljeno je da je sadržaj cinka u rizomu kurkume bio najviši (22,9 mg/100g) u poređenju sa drugim ispitivanim mineralima (tabela 7). Od ostalih mikroelemenata, analiziran je još sadržaj gvožđa (2,4 mg/100g). Od makroelemenata, najzastupljeniji je kalcijum u iznosu od 8,2 mg/100g. Potom su sledeli kalijum (1,70 mg/100g), magnezijum (0,19 mg/100g), fosfor (0,12 mg/100g) i natrijum (0,06 mg/100g). Studija je pokazala da rizom kurkume predstavlja dobar izvor gvožđa, cinka i kalcijuma. S druge strane, autor Olayinka (2023), je prijavio da je kalcijum najzastupljeniji mineral u osušenom rizomu kurkume (0,34 mg/100g) i da je pronađen u značajno manjoj količini u odnosu na prethodno istraživanje. Takođe, isti autor je prijavio značajno niže vrednosti za koncentracije magnezijuma, gvožđa, kalijuma i cinka u odnosu na autore Mane i saradnici (2018). Nasuprot prethodno pomenutim istraživanjima, autori Oluwafemi i saradnici (2022) su zabeležili mnogo više vrednosti koncentracija natrijuma, magnezijuma, kalijuma i gvožđa u osušenim uzorcima kurkume (1,02; 9,94; 35,68 i 28,37 mg/100g, respektivno). Uzroci ovako velikim varijacijama u mineralnom sastavu rizoma mogu biti zbog ispitivanih različitih sorti i genotipova, uticaja klimatskih okolnosti, kvaliteta zemljišta, primenjenih agrotehničkih mera i stepena zrelosti biljke prilikom berbe (Bhardwaj i sar., 2024).

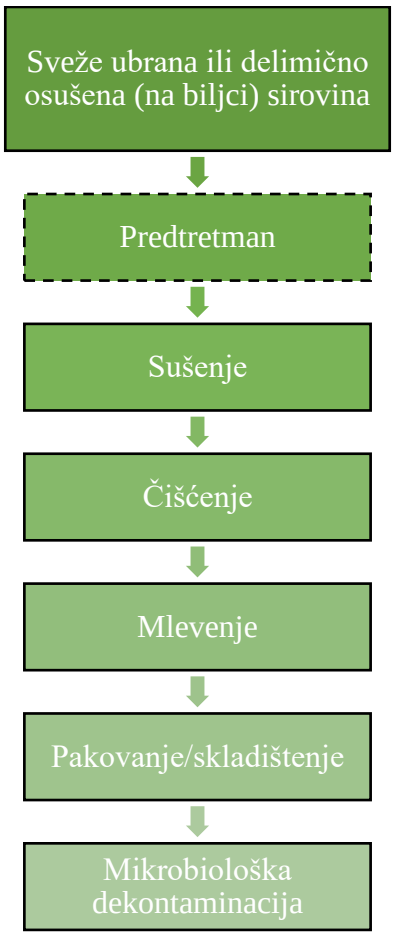
Tabela 7. Mineralni sastav rizoma kurkume

Mineral	Sadržaj (mg/100g)		
	Mane i sar. (2018)	Olayinka (2023)	Oluwafemi i sar. (2022)
Kalcijum (Ca)	8,2	0,34	0,535
Fosfor (P)	0,12	0,185	NA
Natrijum (Na)	0,06	NA	1,02
Magnezijum (Mg)	0,19	0,090	9,94
Kalijum (K)	1,70	0,195	35,68
Gvožđe (Fe)	2,4	0,02	28,37
Cink (Zn)	22,9	0,044	12,06

Napomena: NA – nije analizirano

3.2.4. Prerada začinskih biljaka

Začini se proizvode od različitih anatomskih delova biljaka kao što su rizomi, koren, kora, listovi, plodovi, seme. Zbog velike heterogenosti sirovine, metode prerade se donekle razlikuju i zahtevaju određene individualne operacije. Međutim, postoje neke osnovne jedinične operacije (slika 4) koje se obično primenjuju za većinu začinskih biljaka. Na proizvodnju visokokvalitetnih začina, utiče veliki broj faktora kao što su: način uzgoja, zrelost sirovine tokom branja, vremenski uslovi i slično. Berba može da se odvija ručno ili mašinski i treba se sprovesti kada je najviši sadržaj aktivnih sastojaka. Pre prerade, a odmah nakon berbe, može se sprovesti predtretman sirovine (Schweiggert i sar., 2007).



Slika 4. Konvencionalni proces proizvodnje začina

(koraci u isprekidanim linijama su opcioni)

Nakon prerade, začini se obično pakuju u platnene vreće i čuvaju jedan do tri meseca dok se ne isporuče na tržište odnosno krajnjim korisnicima. Pored operacije sušenja, skladištenje je još jedna kritična kontrolna tačka, a kontrola temperature i vlažnosti vazduha tokom skladištenja su neophodni da bi se sprečilo njihovo kvarenje (Schweiggert i sar., 2007).

Pored razgradnje vrednih sastojaka delovanjem enzima u periodu nakon berbe, bojene materije i aromatične materije, koje su prilično stabilne u netaknutom biljnom tkivu, postaju osetljivi tokom obrade i skladištenja. Posebno, sile trenja koje nastaju tokom tehnološke operacije mlevenja povećavaju promenu boje i gubitak eteričnih

ulja usled isparavanja i oksidativnih reakcija. Na promene originalnog senzorskog profila utiču mnogi faktori (kiseonik, svetlost i povišena temperatura). Slaba stabilnost ovih jedinjenja u uskladištenim osušenim začinskim proizvodima predstavlja ozbiljan problem zbog dugog vremena potrebnog da proizvodi stignu do potrošača (Schweiggert i sar., 2007).

3.3. Konzervisanje namirnica sušenjem

Konzervisanje namirnica sušenjem je jedna od najčešće korišćenih metoda konzervisanja. Sušenje je proces kojim se smanjuje sadržaj vlage u hrani na određeni nivo radi produženja roka trajanja, a u nekim slučajevima i poboljšanja senzorskih karakteristika namirnice. Ukoliko se sušenje odvija primenom toplotne energije, onda ovaj proces uključuje istovremeni prenos mase i toplote između tretirane namirnice i medijuma koji se koristi. Iako je u davnim vremenima sušenje hrane zavisilo od vremenskih prilika, danas se koriste mnogi sofisticiraniji uređaji i metode za ovaj način konzervisanja hrane biljnog ili životinjskog porekla, u kojima se mogu kontrolisati važni parametri sušenja, kao što su pritisak vazduha, temperatura, brzina strujanja vazduha i slično. Unazad nekoliko decenija, uloženi su veliki napori da se razumeju neke od hemijskih i biohemijskih promena koje se događaju tokom sušenja namirnica, što je dovelo do razvića savremenih metoda sušenja pri kojima je gubitak bitnih karakteristika sirovine sveden na minimum (Ahmed, 2018; Rahman i Perera, 2007).

Začinske biljke mogu da se suše različitim konvencionalnim termičkim i netermičkim tehnologijama. Tabelarni pregled metoda sušenja prema složenosti principa rada dat je u tabeli 8. Direktno solarno ili otvoreno sušenje na suncu je najčešće primenjivana tehnika sušenja u tropskim regionima zbog svoje jednostavnosti i ekonomičnosti. Međutim, nedostatak mogu predstavljati loši vremenski uslovi, a proizvod je podložan kontaminaciji. Takođe, parametre sušenja je neretko teško kontrolisati. Indirektnim solarnim sušenjem i sušenjem u stakleniku mogu se prevazići ovi nedostaci.

Tabela 8. Podela metoda sušenja prema složenosti principa rada (Majumder i sar. 2021; Nurhaslina i sar., 2022)

Konvencionalne (termičke) metode sušenje	Direktno solarno sušenje ili otvoreno sušenje na suncu
	Indirektno solarno sušenje ili sušenje u stakleniku
	Sušenje u senci, prozračenoj prostoriji (u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi)
	Sušenje u fluidizovanom sloju
	Konvektivne tehnike sušenja (sušenje vrućim vazduhom)
Savremene metode sušenja	Sušenje zamrzavanjem (liofilizacija)
	Mikrotalasno sušenje
	Sušenje radiofrekventnim talasima

Često se za sušenje sirovina koristi i sušenje u senci odnosno prozračenoj prostoriji (u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi), gde sirovina za sušenje nije direktno izložena sunčevim zrakama. Sušenje u fluidizovanom sloju se smatra pogodnom tehnikom sušenja u poređenju sa konvektivnim tehnikama sušenja i sušenjem vrućim vazduhom zbog boljeg mešanja sirovine sa vazduhom za sušenje i ravnomerne distribucije medijuma za sušenje kroz uzorke. Postoje, međutim, neki nedostaci kod sušenja primenom toplote, jer imaju tendenciju da unište termolabilna jedinjenja i fizička svojstva začina. Da bi se ublažile ove mane termičkog sušenja za začine osetljive na toplotu, porastao je interes za savremenijim metodama sušenja začina u kojima se ne primenjuje toplotna energija u velikoj meri (sušenje zamrzavanjem, mikrotalasno sušenje, sušenje radiofrekventnim talasima i slično) (Majumder i sar., 2021; Nurhaslina i sar., 2022).

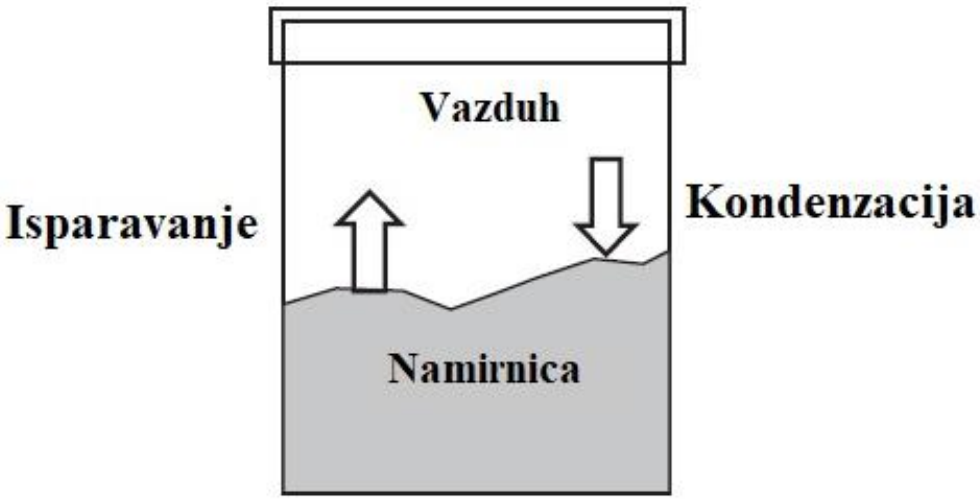
Voda u svim ćelijama, pa tako i biljnim, ima višestruku ulogu i može učestvovati u hemijskim reakcijama kao:

1) rastvarač - odnosno medijum u kome se odigravaju hemijske reakcije,
2) reaktant - kao komponenta koja se troši u reakciji,
3) proizvod - na primer, u reakcijama neenzimskog tamnjenja ili
4) modifikator - na primer katalizom ili inhibicijom reakcije (Driscoll, 2014).

Voda u namirnicama je prisutna u dva osnovna oblika kao: slobodna i vezana voda. Koncept slobodne i vezane vode je razvijen na principima sušenja, a važan je za osušene proizvode zbog stabilnosti tokom obrade i skladištenja. U hrani, voda koja ima svojstva različita od čiste vode može se definisati kao vezana voda. U literaturi se koriste i drugi izrazi (sinonimi) za vezanu vodu npr. voda koju nije moguće zamrznuti, nepokretna voda i voda koja ne deluje kao rastvarač. Udeo vezane vode u namirnici zavisi od načina na koji se ona definiše kao i od primenjene tehnike za njezino kvantitativno određivanje. Za uklanjanje vezane vode potrebno je više energije nego za uklanjanje slobodne vode, te iz tog razloga ima značajan uticaj na proces sušenja (Rahman i Perera, 2007).

Ravnotežna vlažnost je bitan element tokom određivanja kraja procesa sušenja. Obično se koristi vrednost za aktivnost vode kako bi se definisalo ravnotežno stanje. Uglavnom se meso, riba i mlečni proizvodi suše do sadržaja vlage u iznosu od 3% ili manje, proizvodi od povrća obično do 5%, a proizvodi od žitarica često i do 12%. Maksimalan nivo vlage je obično propisan za svaki proizvod posebno, i to na osnovu željenog kvaliteta namirnice nakon sušenja i određenog perioda skladištenja. Dakle, krajnju vlažnost proizvoda tokom sušenja treba odrediti posmatrajući više aspekata, na prvom mestu zdravstvenu bezbednost gotovog proizvoda, a zatim i senzorske karakteristike proizvoda (Rahman i Perera, 2007).

Ako neku namirnicu stavimo u posudu (slika 5) i potom zatvorimo, namirnica i vazduh će doći u ravnotežno stanje nakon nekog vremena. Ovde se javljaju dva oblika ravnoteže između vazduha i posmatrane namirnice i to: termička ravnoteža, gde se temperature izjednačavaju, i ravnotežu u smislu vlažnosti (Driscoll, 2014).



Slika 5. Princip određivanja aktivnosti vode u namirnicama (modifikovano prema autoru Driscoll (2014))

Aktivnost vode (a_w) je mera dostupnosti vode da učestvuje u hemijskim reakcijama. Matematički je definisana kao odnos pritiska vodene pare u namirnici (p_v) prema pritisku čiste vodene pare (p_s) na istoj temperaturi, kao što je prikazano u jednačini (1).

$$a_w = \frac{p_v}{p_s} \quad (1)$$

Tokom sušenja, udeo hemijski vezane vode u proizvodu se povećava, smanjujući pritisak vodene pare. Samim tim, manje je slobodne vode dostupne za hemijske reakcije i rast mikroorganizama (Ahmed, 2018; Al-Muhtaseb i sar., 2002; Driscoll, 2014).

3.3.1. Podela metoda sušenja

Na osnovu načina uklanjanja vode metode sušenja se mogu podeliti na: metode sušenja primenom toplotne energije, sušenje osmotskom dehidratacijom i sušenje mehaničkim uklanjanjem vode. Od metoda sušenja primenom toplotne energije najznačajnije su: sušenje vazduhom (sušenje na suncu, solarno sušenje, konvektivno sušenje, sušenje raspršavanjem, sušenje u fluidizovanom sloju,...), sušenje u uslovima sniženog pritiska (vakuum sušenje, sušenje zamrzavanjem) i sušenje u modifikovanoj atmosferi (azot i ugljen-dioksid) (Rahman i Perera, 2007).

U zavisnosti od načina prenosa toplote i mase, procesi sušenja mogu se grupisati u dve kategorije: konvektivno sušenje i konduktivno sušenje. Kod konvektivnog vida sušenja, vruć i suv gas (obično vazduh) se koristi i za dovod toplote potrebne za isparavanje i za uklanjanje vodene pare sa površine hrane. Ovaj široko rasprostranjeni način sušenja poznat je i kao sušenje vazduhom. Kod konduktivnog načina sušenja sirovina se dovodi u kontakt sa zagrejanom površinom (ili, u nekim slučajevima, sa pregrejanom parom). Vakuumsko sušenje, sušenje u bubnju i sušenje u pregrejanoj pari su slučajevi ovog načina sušenja (Berk, 2013).

Pre odabira procesa sušenja treba uzeti u obzir mnoge faktore. Ovi faktori mogu biti: (a) tip proizvoda koji se suši, (b) željena svojstva gotovog proizvoda, (c) dozvoljena tolerancija temperature, (d) osetljivost proizvoda na toplotu, (e) potrebna prethodna obrada, (f) kapitalni troškovi i troškovi obrade, i (g) faktori životne sredine. Ne postoji jedna najbolja tehnika sušenja koja je primenjiva za sve proizvode (Rahman i Perera, 2007).

3.3.1.1. Sušenje vrućim vazduhom

Sušenje pomoću toplotne energije je jedna od najčešće korišćenih metoda sušenja hrane. U ovom procesu se toplota koristi se za uklanjanje vode iz hrane. Većina sušnica za hranu koristi zagrejani vazduh koji prolazi kroz sirovinu uklanjajući vlagu. Sadržaj vlage se koristi kao indikator napredovanja sušenja, ali sa stanovišta konzervisanja namirnica, potrebno je pratiti vrednosti aktivnosti vode. Vazduh je u stanju da primi relativno malu količinu vlage, manje od 1% u odnosu na svoju masu. Da bi se odredila količina vlage koju vazduh može apsorbovati, potrebno je poznavati njegovu relativnu vlažnost. Relativna vlažnost vazduha (r) predstavlja odnos izmerene vrednosti pritiska vodene pare (p_v) u datom vazduhu i maksimalno mogućeg pritiska vodene pare (p_s) na istoj temperaturi. Zasićeni vazduh ima relativnu vlažnost 1 (ili 100%). Relativna vlažnost vazduha je zapravo mera aktivnosti vode u vazduhu. Ako posmatramo uzorak namirnice u zatvorenoj posudi sa malom količinom vazduha, nakon nekog vremena uspostaviće se ravnotežno stanje između uzorka namirnice i vazduha s obzirom na temperaturu i vlagu. Drugačije rečeno, u stanju ravnoteže, relativna vlažnost vazduha jednaka je aktivnosti vode u uzorku namirnice, što je prikazano jednačinom (2).

$$r = a_w = \frac{p_v}{p_s} \quad (2)$$

Ako prehrambeni proizvod ostvari kontakt sa vazduhom čija je relativna vlažnost veća od aktivnosti vode u namirnici, odnosno $r>a_w$, tada će namirnica apsorbovati vlagu iz vazduha. Zbog toga sušenjem se ne može smanjiti aktivnost vode u namirnici ispod relativne vlažnosti vazduha koji se koristi za sušenje. Isto tako, osušeni proizvod treba čuvati u pakovanju ili skladištu u kome je relativna vlažnost vazduha kontrolisana (Driscoll, 2014).

Termičko sušenje obuhvata procese prenosa toplote i mase unutar i izvan namirnice. Kretanje vlage iz unutrašnjosti materijala ka površini zavisi od svojstava materijala koji se suši, a može da se odvija difuzijom ili kapilarnim mehanizmom. Tokom difuzije, gradijent koncentracije je pokretačka sila, a voda može biti u obliku tečnosti ili pare. Kapilarnim mehanizmom vlaga se kreće kao posledica površinskog napona vode (Rahman i Perera, 2007).

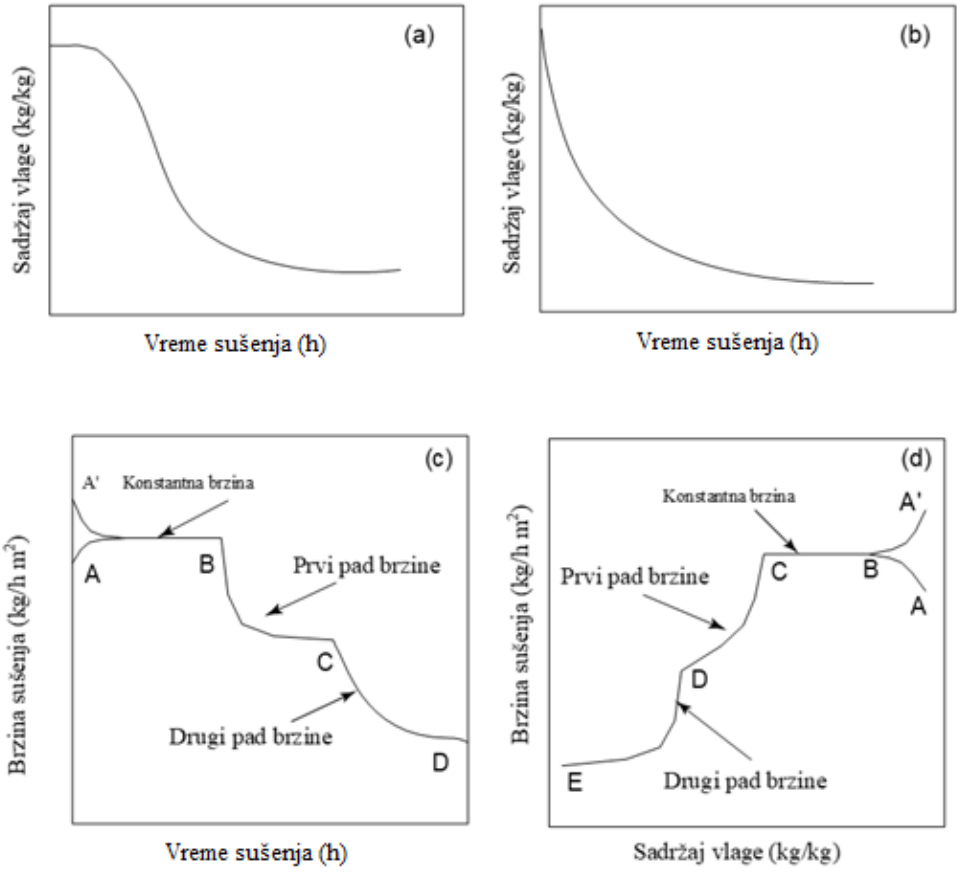
Vrsta ili struktura hrane uvek igra važnu ulogu u procesu sušenja. Mehanizmi prenosa vlage u unutrašnjosti namirnice u toku sušenja uglavnom zavise od vrste odnosno fizičko-hemijskih svojstava prehrambenog materijala kao i parametara procesa sušenja. U vezi s tim, prehrambene sirovine se mogu klasifikovati kao:

1) homogeni gelovi,
2) porozni materijali sa međusobno povezanim porama ili kapilarama, i
3) materijali koji imaju vanjsku barijeru koja je glavna prepreka protoku vlage.

Krivom sušenja može se prikazati brzina sušenja u toku vremena sušenja ili sadržaja vlage. Tri su glavne faze sušenja:

1) Prolazna (rana) faza, tokom koje se proizvod zagrejava (polazni period),
2) Konstantna faza, period u kojem se vlaga relativno lako uklanja (konstantna brzina sušenja),
3) Faza opadanja, u kojem se vlaga vezuje ili zadržava unutar čvrstog matriksa (brzina sušenja opada).

Tipične krive brzine sušenja prikazane su na slici 6. Tokom perioda konstantne brzine sušenja, smatra se da na površini prehrambenoog materijala postoji tanak film vode i da nema unutrašnjeg ili spoljašnjeg otpora prenosa mase. Dakle, sušenje u ovoj fazi je pod kontrolom vanjskih uslova, odnosno zavisi od temperature, pritiska i strujanja vazduha, te od vrednosti koeficijenata prelaza toplote i mase.



Slika 6. Krive sušenja (a) sa lag fazom, (b) bez lag faze, (c) brzina sušenja u odnosu na vreme sušenja, (d) brzina sušenja u odnosu na sadržaj vlage (Rahman i Perera, 2007)

Nakon nekog vremena vlažnost materijala (sirovine) se toliko smanji da se tanki granični vodeni sloj počinje kidati i povlačiti s površine materijala, a na materijalu se pojavljuju prva suva mesta. Tada nastupa period pada brzine sušenja, gde je sušenje kontrolisano unutrašnjim otporom prenosa mase. Sadržaj vlage u tački u kojoj se period sušenja menja iz konstantne u opadajuću brzinu može se smatrati kritičnim sadržajem vlage. Kritični sadržaj vlage zavisi od karakteristika namirnice i uslova sušenja. Kritični sadržaj vlage varira od 0,78 do 0,83 (kg/kg, vlažna osnova) za

povrće. Kriva sušenja prehrambenog materijala zavisi od njegove poroznosti, homogenosti i higroskopnih svojstava. Obično dva pada brzine sušenja su uočena i za higroskopne i za nehigroskopne čvrste materijale. Prvi pad brzine sušenja pretpostavlja se da zavisi od unutrašnjih i vanjskih brzina prenosa mase, dok drugi pad brzine sušenja, tokom kojeg je sušenje mnogo sporije, u potpunosti zavisi od unutrašnjeg prenosa mase.

Porozni materijali sadrže složenu mrežu međusobno povezanih pora i kanala koji se protežu sve do vanjske površine. Kako se voda uklanja, formira se meniskus unutar svake pore, kao posledica površinskog napona vode i kapilarnih sila, što utiče na smanjenje brzine sušenja. Smatra se da se isparavanje vlage iz krompira odvija i difuzijom i kapilarnim mehanizmom. Tokom sušenja, pri visokom sadržaju vlage u namirnici, tečnost u namirnici se kreće kao posledica delovanja kapilarnih sila. Sa smanjenjem sadržaja vlage, smanjuje se i količina tečnosti u porama i dolazi do uspostavljanja gasne faze, uzrokujući smanjenje propustljivosti tečne faze. Postepeno, prenos mase odvija se difuzijom pare kroz porozne strukture. U tački zasićenja, tečna faza više nije prisutna u porama i transfer mase u potpunosti se odvija difuzijom pare. Sporija brzina sušenja može biti posledica i interakcije *čvrsta faza-voda* (Rahman i Perera, 2007; Tripalo i Viličić, 1992).

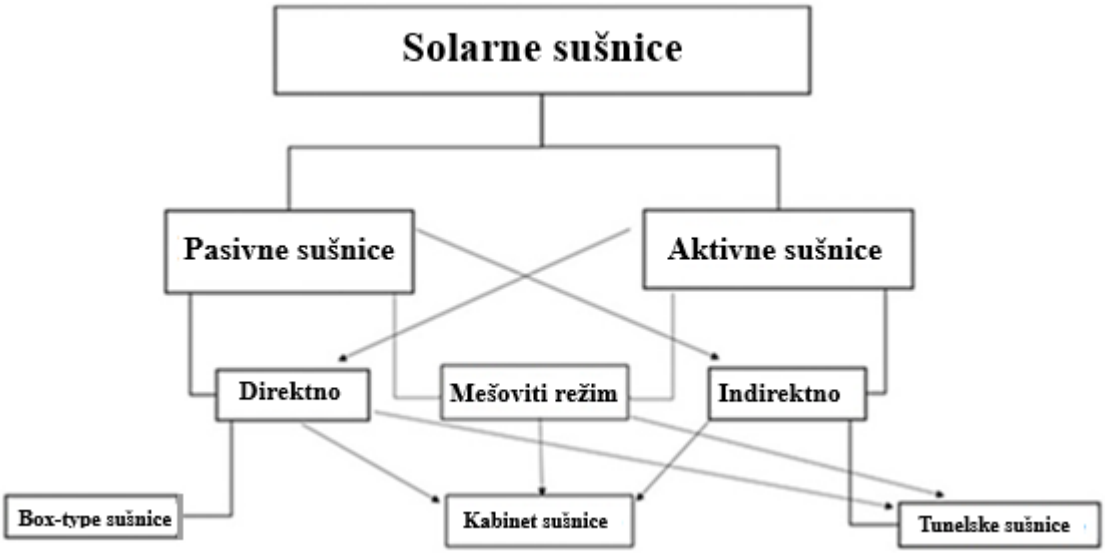
3.3.1.2. Prirodno sušenje

U prirodne tehnike sušenja možemo svrstati sušenje na suncu i sušenje u senci (hladu) (Roshanak i sar., 2016). Ranije se za sušenje hrane od tehnika sušenja koristilo sušenje na suncu, odnosno sunčevo zračenje kao izvor toplotne energije. U ovom procesu, hrana može biti direktno izložena suncu, stavljajući je na zemlju ili ostavljajući da visi u vazduhu. Glavni nedostaci ove tehnike sušenja su:

1) kontaminacije iz okoline,
2) gubici proizvoda i kontaminacije od insekata i ptica,
3) zahtevi za podnim prostorom,
4) poteškoće u kontroli procesa i
5) narušena senzorska svojstva proizvoda.

Osim direktnog sušenja na suncu, u upotrebi su i solarne sušnice. Tipična solarna sušnica se sastoji od komore za sušenje, grejača vazduha i sistema za ostvarivanje protoka vazduha. Ovakve sušnice mogu se klasifikovati prema načinu kretanja vazduha, načinu prenosa toplote i tipu komore za sušenje. Na osnovu ovih klasifikacija, solarne sušnice su grupisane u dve glavne grupe: pasivne sušnice sa prirodnom cirkulacijom vazduha i aktivne sušnice koje rade na prinudnoj cirkulaciju vazduha i sušnice kombinovanog režima koje mogu da rade u kombinaciji pasivnog i aktivnog sušenja – mešoviti režim. U pasivnim sušnicama toplota se prenosi direktno, dok u aktivnim sušnicama za zagrejavanje vazduha se koriste solarni paneli pomoću kojih se vazduh zagrejava i uvodi u komoru za sušenje u indirektnom režimu sušenja. U sušnicama kombinovanog režima, vazduh se zagrejava pre ulaska u komoru za sušenje, a sunčevo zračenje dodatno zagrejava sirovinu smeštenu u komori za sušenje (slika 7).

Solarna tunelska sušnica se sastoji od komore za sušenje kvadratnog oblika, napravljena u tunelskom stilu, i ventilatora. Ventilator duva vazduh, koji je prethodno zagrejan panelima, kroz tunel. Na taj način, ventilator kontroliše brzinu strujanja vazduha. Takođe, razvijena je i druga verzija ove sušnice, tzv. staklenik sušnica, gde se u tunelu za sušenje izgrađenog od providnog plastičnog materijala nalaze nizovi tacni sa sirovinom. Vazduh iz staklenika se distribuiše do tunela pomoću električnog ventilatora, dok providni zidovi propaštaju sunčevo zračenje na proizvod. Ova sušnica obezbeđuje kontinuiranu proizvodnju, smanjuju se troškovi rada i manja je potrošnja energije (Skåra i sar., 2022).



Slika 7. Tipovi solarnih sušnica (modifikovano prema Skåra i sar., 2022)

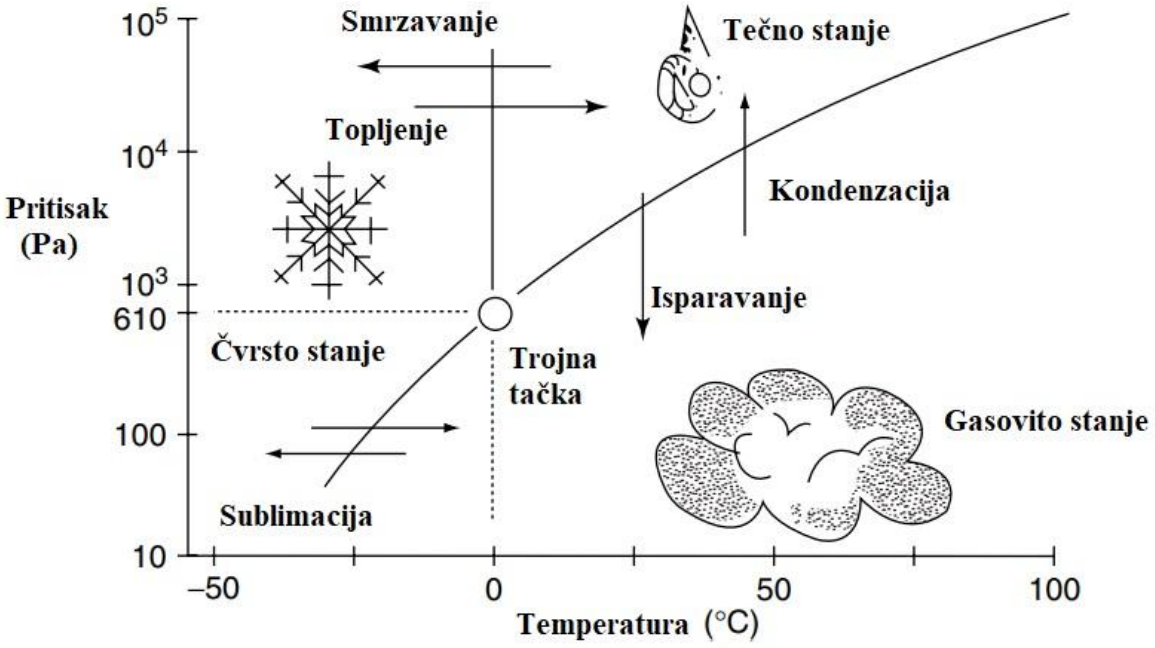
Sušenje u senci (ili hladu) je tehnika sušenja slična sušenju na suncu po tome što koristi solarnu energiju kao izvor toplote. Ipak, proces se izvodi postavljanjem biljne sirovine u hlad (u otvoreni prostor), dalje od direktne sunčeve svetlosti. Pošto zagrejani okolni vazduh suši biljke, ova tehnika se zasniva na strujanju vazduha u prostoru i niskoj vlažnosti vazduha. Pokazala se kao dobra tehnika za sušenje sirovina osetljivih na svetlost uz minimalan uticaj na hemijska jedinjenja prisutna u esencijalnom ulju biljke. Ipak, nedostatak ove metode sušenja je preterano dug period sušenja u poređenju sa sušenjem na suncu kao i kontaminacija sirovine sa kontaminentima iz vazduha (Alara i sar., 2018; Nurhaslina i sar., 2022).

3.3.1.3. Vakuum sušenje

Sušenje u vakuumu uključuje izlaganje hrane izvoru toplote u uslovima sniženog atmosferskog pritiska. Vakuum omogućava da voda ispari na nižoj temperaturi nego u atmosferskim uslovima, tako da hrana može biti osušena bez izlaganja visokoj temperaturi. Osim toga, nizak nivo kiseonika u atmosferi smanjuje reakcije oksidacije tokom sušenja. Uopšteno, boja, tekstura i ukus proizvoda osušenih u vakuumu poboljšani su u poređenju sa proizvodima osušenim na vazduhu (Rahman i Perera, 2007).

3.3.1.4. Sušenje zamrzavanjem (liofilizacija)

Prilikom sušenja zamrzavanjem, prethodno smrznuti materijal se podvrgava pritisku ispod trojne tačke vode (0 °C, 610 Pa), a potom se zagrejava kako bi se izazvala sublimacija leda u vodenu paru. Fazni dijagram vode prikazan je na slici 8. Ova metoda se obično koristi s ciljem dobijanja proizvoda visokog kvaliteta, a koji sadrže biološke komponente osetljive na toplotu kao što su npr. vitamini, antioksidanti, mikrobne kulture i slično. Odsustvo vazduha i niska temperatura sprečavaju njihovo propadanje odnosno uginuće. Takođe daje vrlo porozne proizvode, što kasnije rezultuje visokom brzinom rehidratacije osušenih proizvoda. Međutim, sušenje zamrzavanjem je spor i skup proces. Dugo vreme obrade troši veliku količinu energiju za pokretanje kompresorske i rashladne jedinice, što proces čini veoma skupim za komercijalnu upotrebu (Rahman i Perera, 2007).



Slika 8. Fazni dijagram vode sa naznačenom trojnom tačkom (modifikovano prema autorima Rahman i Perera (2007))

Dakle, sušenje zamrzavanjem je proces kojim se voda uklanja iz zamrznute hrane sublimacijom vode i desorpcijom sorbirane vode (nezamrznutog rastvarača), pod smanjenim vazdušnim pritiskom.

Sušenje zamrzavanjem je proces koji se sastoji iz tri faze:

1) faza zamrzavanja,
2) primarna faza sušenja i
3) sekundarna faza sušenja.

Prva faza tokom procesa sušenja zamrzavanjem jeste zamrzavanje namirnice. To je prvi korak odvajanja vode u procesu sušenja i performanse celokupnog procesa sušenja zamrzavanjem zavise od ove faze. Materijal koji treba da bude osušen se ohladi na temperaturu ispod vrednosti temperature zamrzavanja namirnice (ova temperatura zavisi od prirode proizvoda). Generalno, proces zamrzavanja obuhvata tri faze: (1) fazu hlađenja, u kojoj se tečna faza hladi sa početne temperature do tačke smrzavanja, (2) fazu fazne promene, u kojoj se odvija prvo formiranje nukleusa leda i rast kristala leda, i (3) fazu očvršćavanja, u kojoj svi kristali leda rastu do momenta kada dalji rast nije moguć. Na kraju zamrzavanja već postoji razlika između vode koju treba ukloniti (zamrznuta voda u obliku kristala leda) i ostatka namirnice. U mnogim slučajevima, na kraju faze zamrzavanja, oko 65–90% od početne količine vode nalazi se u zamrznutom stanju, a preostala količina, oko 10-35% početne količine vode, nalazi se u sorbiranom (nezamrznuta voda) stanju (Assegehegn i sar., 2020; Liapis i Bruttini, 2006).

Nakon faze zamrzavanja, komora za sušenje u kojoj se nalazi namirnica se vakuumira, a pritisak je smanjen na onu vrednost koja bi omogućila sublimaciju vode, a koja se odvija u ovoj primarnoj fazi sušenja. Sublimacijom molekula vode iz čvrste u gasovitu fazu, troši se latentna toplota sublimacije (2840 kJ/kg leda), a samim tim i temperatura zamrznute namirnice se smanjuje. U slučaju kada se ne bi dovodila toplotna energija iz spoljašnjeg izvora u toku procesa sušenja, pritisak vodene pare na temperaturi proizvoda dostigao bi istu vrednost kao i parcijalni pritisak vodene pare u komori za sušenje. Tada bi sistem bio u ravnotežnom stanju i sublimacija vode iz namirnice bi bila onemogućena. Takođe, vodena para mora biti kontinuirano odvođena iz komore za sušenje radi održavanja neravnotežnih uslova u sistemu. To se obično postiže postavljanjem kondenzatora leda između komore za sušenje i vakuum pumpe. Dakle, da bi imali kontinuiranu sublimaciju vode iz namirnice, latentna toplota sublimacije mora biti obezbeđena spoljašnjim izvorom toplote.

Toplota se obično dovodi do namirnice kondukcijom, konvekcijom ili zračenjem. Kondukcija toplotne energije se ostvaruje kontaktom namirnice preko zagrejanih ploča na kojima se nalazi namirnica. Količina toplote koja se može isporučiti proizvodu se ne može slobodno povećavati, jer postoje određeni uslovi koji moraju biti zadovoljeni tokom primarne faze sušenja. Jedno od ograničenja ima veze sa maksimalnom temperaturom koju namirnica može tolerisati bez gubitka bioaktivnih komponenti, promene boje, strukturne deformacije u osušenom sloju i slično (Liapis i Bruttini, 2006; Nowak i Jakubczyk, 2020).

Maksimalnu temperaturu koju može proizvod tolerisati, a da ne trpi ništa od gore navedenih štetnih efekata, za dati proizvod označava se sa T_{scor} (T_{scor} se često naziva, po dogovoru, temperatura tačke sagorevanja osušenog proizvoda). Vodena para nastala sublimacijom zamrznute vode u smrznutom sloju i desorpcijom sorbirane (nezamrznute) vode u osušenom sloju tokom primarne faze sušenja putuje difuzijom i konvektivnim strujanjem kroz porozne strukture osušenog sloja i ulazi u komoru za sušenje zamrzavanjem. Treba napomenuti da je tokom primarne faze sušenja većina vode uklonjena sublimacijom zamrznute vode (Liapis i Bruttini, 2006).

Sekundarna faza sušenja uključuje uklanjanje nesmrznute vode (sorbirane ili vezane voda). U idealnom procesu sušenja zamrzavanjem, sekundarno sušenje počinje na kraju faze primarnog sušenja. Reč idealno se ovde koristi kako bi se opisao proces u kome bi samo zamrznuta voda trebala biti uklonjena tokom primarne faze sušenja, dok bi se sorbirana voda trebala ukloniti tokom sekundarne faze sušenja. Međutim, u realnim sistemima, samo mala količina sorbirane vode se može ukloniti desorpcijom iz osušenog sloja namirnice tokom primarne faze sušenja i stoga bi moglo doći do pojave sekundarne faze sušenja u osušenom sloju proizvoda tokom primarne faze sušenja. U stvarnim uslovima sušenja zamrzavanjem, sekundarna faza sušenja počinje onda kada je sav led uklonjen sublimacijom (kraj primarne faze sušenja). Onda se može smatrati da je tokom sekundarne faza sušenja većina vezane vode uklonjena. Vezana voda može biti posledica fizičke adsorpcije, hemijske adsorpcije i prisustva kristalne vode. Dok je količina vezane vode otprilike 10-35% ukupnog sadržaja vlage (65-90% od ukupne količine vlage mogla bi biti slobodna voda koja se može transformisati u led i zatim se ukloniti sublimacijom tokom primarne faze sušenja), njen uticaj na brzinu sušenja i sveukupno vreme sušenja je veoma

značajan. Vreme koje je potrebno za uklanjanje sorbirane vode može biti dugo ili duže od vremena koje je potrebno za uklanjanje slobodne vode. Vezana voda se uklanja zagrejavanjem proizvoda pod vakuumom. Ali, kao i u slučaju primarnog sušenja, količina toplote koja se može isporučiti proizvodu se ne može slobodno povećavati jer postoje određena ograničenja koja moraju biti zadovoljena tokom sekundarne faze sušenja. Ograničenja su povezana sa sadržajem vlage i temperaturom proizvoda, a ove dve varijable utiču na strukturnu stabilnost kao i stabilnost proizvoda tokom i nakon sušenja (Liapis i Bruttini, 2006; Nowak i Jakubczyk, 2020).

3.3.2. Uticaj sušenja na karakteristike i održivost prehrambenih namirnica

Sušenjem se menjaju senzorske karakteristike namirnica, kao što su: ukus, tekstura i aroma, a upotrebljenja toplota, može izazvati određene hemijske reakcije (npr. denaturacija proteina). Sušenje takođe utiče i na fizičke karakteristike proizvoda, jer uklanjanjem vode smanjuje se i prvobitna zapremina sirovine. Tokom procesa sušenja hrane, jedna od najznačajnijih reakcija koja se dešava jeste enzimsko tamnjenje. Ova reakcija ne samo da menja boju osušene sirovine, već i smanjuju njenu hranljivu vrednost, uzrokuju neželjene promene u ukusu i dovodi do nepovratnih strukturnih promena. Primarni cilj sušenja je delimično uklanjanje vode iz hrane da bi se produžio rok trajanja i sprečilo kvarenje hrane. Fizičke i biološke promene koje se dešavaju tokom procesa sušenja, utiču na kvalitet gotovog proizvoda. Na ove promene u hrani značajno utiču varijable poput vremena sušenja, temperature i aktivnosti vode u proizvodu. Savremene tehnologije sušenja nude proizvode dobrog kvaliteta, uključujući: boju, hranljive vrednosti, ukus, teksturu i mogućnost rehidratacije, pored toga što su efikasne i ekonomične. Kvalitet proizvoda nakon sušenja mora se uzeti u obzir jer se tokom tradicionalnog sušenja dešava niz nepovoljnih fizičkih i hemijskih promena, kao i neravnomerna raspodela vlage (Arslan i Alibaş, 2024; Siddiqui i sar., 2024).

Sušenjem se smanjuje aktivnost vode (a_w), što čini osnovni preduslov da bi se sprečio rast i razvoj mikroorganizama odgovornih za kvarenje proizvoda. Takođe, i aktivnosti enzima, koji su prirodno prisutni u namirnicama, se smanjuju što doprinosi očuvanju karakteristika namirnica. Brzina rasta i razvoja mikroorganizama je

ograničena sadržajem vlage u namirnicama, odnosno aktivnošću vode. Na primer, većini bakterija je potreban a_w>0,95, a plesnima a_w>0,70. Granična vrednost aktivnosti vode za određeni mirkoorganizam zavisi i od drugih faktora kao što su: pH vrednost sredine, dostupnost kiseonika, priroda prisutnih rastvorenih materija, raspoloživi nutrijenti i temperatura. Generalno, važi pravilo, manje povoljnih faktora, viša vrednost a_w je potrebna za njihov rast. Delovanjem mikroorganizama kvalitet proizvoda može biti narušen, te može učiniti proizvod neupotrebljivim, zbog različitih promena, na primer promena boje, fizička oštećenja, pojava neugodnih mirisa, ili iz sigurnosnih (zdravstvenih) razloga, na primer pojava patogena koji izazivaju bolesti koje se prenose hranom. Dakle, smanjenje a_w povećaće mikrobiološku stabilnost proizvoda, čime se produžava rok trajanja (Driscoll, 2014).

Tokom sušenja, hemijske reakcije u namirnici se dešavaju sve dok se ne postigne kritična vrednost a_w. Temperatura sušenja ima važan uticaj na brzinu hemijskih reakcija, tako da direktno utiče na kvalitet osušenog proizvoda. Mala promena temperature može uzrokovati velike promene brzine reakcije. Više temperature takođe obezbeđuju dovoljnu energiju za više različitih hemijskih reakcija. Reakcije u kojima je voda potrebna kao medijum koji će osigurati kontakt reaktanata, vremenom će postati sve manje izražene usled smanjene molekularne pokretljivosti reaktanata. Kako vlažnost proizvoda opada, rastvorene supstance postaju koncentrisanije i stoga viskozitet raste. To sve otežava međusoban kontakt između reaktanata (Driscoll, 2014).

Neki primeri važnih hemijskih reakcija koje se dešavaju tokom sušenja su:

1) Enzimske reakcije, koje nisu potpuno razjašnjene, ali koje su vrlo spore pri niskim a_w vrednostima, zbog onemogućenosti supstrata za difuziju na aktivno mesto enzima;
2) Neenzimsko tamnjenje zavisi od količine dostupne vode, s maksimalnom brzinom reakcije pri vrednostima a_w=0,6–0,7. Voda je takođe proizvod reakcije. Previše vode inhibira reakciju razblaživanjem, dok manjak vode dovodi do neadekvatne mobilnosti reaktanata;
3) Oksidacija lipida, reakcija koja je brza i pri niskim i visokim vrednostima a_w, spora na srednjim vrednostima;

4) Gubitak hranljivih materija, na primer gubitak vitamina B ili C na visokim temperaturama;
5) Gubitak isparljivih materija, što utiče na ukus i aromu krajnjeg proizvoda;
6) Oslobađanje strukturne vode koja menja teksturu hrane (Driscoll, 2014).

Parametri koji se generalno posmatraju da bi se utvrdio kvalitet osušenih začina uključuju: hemijske (polifenoli, terpenoidi, vitamini), fizičko-hemijske (antioksidativni kapacitet, aktivnost vode), biološke (antimikrobna aktivnost) i senzorske (boja, aroma, ukus i tekstura). Disparitet u kvalitetu prehrambenih proizvoda nastaje usled različitih fizičko-hemijskih, mehaničkih i mikrobioloških faktora. Zbog osetljivosti začina na toplotu i vlagu, pogoršanju kvaliteta najviše doprinosi prekomerno izlaganje povišenim temperaturama i vlažnosti tokom sušenja (Majumder i sar., 2021).

Kvalitet i prihvatljivost začina za krajnje korisnike određeni su koncentracijom sekundarnih metabolita, uglavnom terpena, alkaloida i polifenola. Specifične senzorske karakteristike (aroma i ukus), tj. oštar miris (đumbir, crni luk, beli luk), gorko (kurkuma), “vruće” (čili i biber), ljuto (đumbir, kurkuma) i miris na sumporna jedinjenja (luk, beli luk) povećava vrednost začina, a sve zbog prisustva flavonoida i eteričnih ulja koji sadrže terpenoide i njihove derivate. Ova jedinjenja su veoma osetljiva na toplotu, svetlost, kiseonik i vlagu (Majumder i sar., 2021).

Nutritivnu vrednost začina oplemjenjuju različiti vitamini prisutni u začinima. Na primer, za kurkumu su karakteristični vitamin A, C, E, K, riboflavin, niacin, piridoksin, folat, za čili i biber pretežno vezuju vitamin C, E, dok je luk bogat vitaminima A, C, E. Beli luk u sebi sadrži piridoksin, vitamin C. Tokoferol i askorbinska kiselina su prirodni antioksidanti prisutni u začinima. Vitamin C je veoma sklon oksidaciji u kontaktu sa toplotom i svetlošću i razlaže se na L-dehidroaskorbinsku kiselinu. Skraćivanjem vremena izlaganja može se sačuvati sadržaj vitamina C čak i na povišenoj temperaturi sušenja (Majumder i sar., 2021).

Najčešće pronađeni kontaminenti organskog porekla u začinima su:

1) Mikotoksini fitopatogenih plesni,
2) Ostaci pesticida, kao i
3) Supstance koje se koriste za potrebe falsifikovanja (npr. dodavanjem strane supstance lošijeg kvaliteta ili zamenom vrednije supstance manje vrednim sastojcima).

Mikotoksini su sekundarni metaboliti različitih mikotoksinogenih plesni, a koji mogu da ispolje štetne efekte na ljudsko zdravlje, npr. kancerogene ili uzrokuju endokrine poremećaje u organizmu. Iako postoje različite metode za sprečavanje rasta mikotoksinogenih plesni, te metode su efikasne samo ako se primenjuju pre nego što je došlo do kontaminacije mikotoksinima. Ostaci pesticida uglavnom potiču od različitih hemijskih supstanci koje se koriste prilikom uzgoja začinskih biljaka kako bi se zaštitile od raznih korova, gljivica ili štetočina (uglavnom insekata). Racionalna upotreba pesticida je neophodna da bi se izbeglo njihovo prisustvo u krajnjem proizvodu. Za razliku od gore navedenih hemijskih kontaminenata koji se u začinima javljaju uglavnom kao slučajna kontaminacija, druge supstance se mogu pojaviti kao namerna kontaminacija (falsifikovanje začina), a jedan od razloga jeste finansijska ušteda.

Mikrobiološka sigurnost je verovatno aspekt koji izaziva najveću zabrinutost u slučaju osušenih začina i bilja. Zbog niske aktivnosti vode (čime se sprečava rast i razvoj većine mikoorganizama), mikrobiološka kontaminacija sa pojedinim mikroorganizmima (npr. kserofilnim vrstama) se ipak može pojaviti u ovim proizvodima, pa začini i bilje mogu biti izvori bolesti koji se prenose hranom (Székács i sar., 2018; Velázquez i sar., 2023).

3.4. Senzorska analiza prehrambenih proizvoda

Senzorskom analizom ispituju se senzorska svojstva (izgled, miris, ukus, aroma, tekstura i trigeminalna svojstva) proizvoda putem čula (vida, mirisa, ukusa, dodira i sluha) obučenih ocenjivača ili potrošača. Iako se istorijski smatrala metodom koja dopunjuje fizičko-hemijske i mikrobiološke analize, savremena senzorska analiza danas ima centralnu ulogu u proceni kvaliteta, razvoju i optimizaciji proizvoda, detaljnom opisivanju senzorskih svojstava, poređenju uzoraka i razumevanju potrošačkog iskustva. Za razliku od instrumentalnih metoda, senzorska analiza jedina može direktno da proceni kako ljudi zaista doživljavaju proizvod, odnosno koji atributi utiču na prihvatljivost, preferenciju i kupovinu. Stoga, čak i kada proizvod ispunjava sve mikrobiološke kriterijume i poseduje adekvatna tehnološka svojstva, on može biti odbijen od strane potrošača ukoliko ne poseduje poželjne senzorske karakteristike (Alvarado i Linnemann, 2010; Ruiz-Capillas i Herrero, 2021). Senzorski atributi kvaliteta hrane se analiziraju kako bi se utvrdile preferencije potrošača, odnosno kako bi se proizveo prihvatljiv proizvod uz maksimalnu ekonomičnost proizvodnje (Jain i Gupta, 2005). Na osnovu dobijenih rezultata senzorske analize, mogu se dobiti potrebne informacije za modifikaciju određenih atributa kako bi se zadovoljile želje i potrebe potrošača (Wu i sar., 2023). Tradicionalne i savremene senzorske tehnike – diskriminatorne, deskriptivne i hedonističke, dalje su najčešće primenjivane (Pop, 2023; Ruiz-Capillas i Herrero, 2021).

Senzorska analiza se može definisati kao naučna disciplina koja se koristi u situacijama kada postoji potreba da se izazovu, mere, analiziraju i interpretiraju one senzacije koje nastaju kao rezultat opažanja proizvoda putem čula i to na prvom mestu čula vida, mirisa, dodira, ukusa i sluha (Stone i sar., 2020).

Senzorski testovi koji se najčešće koriste tokom analize prehrambenih proizvoda mogu se podeliti u tri grupe (Lawless i Heymann, 1999; Namal Senanayake, 2013; Pop, 2023):

1) Diskriminatorni testovi (ili testovi razlike) u koje se ubrajaju: A–nije A test, parni test, test trougla, duo–trio test, rangiranje itd.
2) Deskriptivni testovi (ili opisni testovi) u koje se ubrajaju: profil ukusnosti, profil teksture, kvantitativna deskriptivna analiza, senzorski spektar, projekciono mapiranje, sortiranje, itd.
3) Hedonistički testovi u koje se ubrajaju testovi za ispitivanje preferencije i stepena potrošačke prihvatljivosti.

Deskriptivna senzorska analiza se razlikuju od drugih metoda po tome što nastoji da profiliše proizvod na osnovu svih njegovih percipiranih senzorskih karakteristika. Deskriptivna senzorska analiza uključuje detekciju, identifikaciju i opisivanje (kvalitativno i kvantitativno) senzorskih karakteristika proizvoda od strane obučenih ocenjivača. Kvalitativni aspekti proizvoda uključuju identifikaciju različitih mirisa i aroma, različitih nijansi boja, osobina izgleda, modaliteta ukusa, teksturnih karakteristika i zvučnih svojstava proizvoda, koja ga razlikuju od drugih. Obučeni ocenjivači zatim kvantifikuju ove parametre kako bi se što preciznije opisali percipirani atributi proizvoda. Najveća prednost deskriptivne analize je to što može da pomogne u povezivanju identifikovanih i kvantifikovanih senzorskih svojstava proizvoda sa objektivnim (instrumentalnim) merenjima određenog parametra kvaliteta, ili sa tim koliko potrošači „vole“ proizvod. Poznavanje „željenog sastava“ proizvoda omogućiće njegovu optimizaciju i zbog toga se sve više koriste provereni modeli koji povezuju podatke dobijene putem ljudskih čula, instrumentalnih merenja i preferencija potrošača. Deskriptivna senzorska analiza se takođe koristi za kontrolu kvaliteta, za poređenje prototipova proizvoda kako bi se ispitale reakcije potrošača na određene senzorske atribute proizvoda, kao i za identifikovanje i merenje razlika u kvalitetu ispitivanih proizvoda. Takođe se mogu koristiti za praćenje promena u proizvodu tokom vremena s ciljem definisanja roka trajanja i efekta pakovanja, za ispitivanje uticaja sastojaka ili tehnoloških parametara na konačni senzorski kvalitet proizvoda kao i za ispitivanje percepcije potrošača o proizvodima (Murray i sar., 2001).

3.5. Biološki potencijal odabranih začinskih biljaka

Bioaktivna jedinjenja, koja su prirodno prisutna u biljkama, neophodna su za ljudsko zdravlje zbog višestrukih bioloških efekata koje ispoljavaju u organizmu, kao što su antioksidativno, antikancerogeno, antialergeno, antiinflamatorno, antimutageno i antimikrobno delovanje te koje mogu imati terapeutsko dejstvo na različite nezarazne bolesti, kao što su autoimune, inflamatorne, kardiovaskularne, kancerogena stanja, bolesti metabolizma i neurodegenerativne bolesti. Identifikovanje ovih komponenti i utvrđivanje njihovog uticaja na zdravlje su izuzetno popularni za naučna istraživanja (Dincheva i sar., 2023). U biljkama postoji mnogo različitih bioaktivnih jedinjenja, koja se nazivaju sekundarnim metabolitima. Pod sekundarnim metabolitima biljaka podrazumevamo fenolne kiseline, flavonoide, karotenoide i tokoferole koji mogu inhibirati reakciju oksidacije izazvanu gvožđe (III)/askorbinska kiselina (Fe^{3+}/AA^{-}) redoks sistemom, uklanjati slobodne radikale i delovati kao redukciona sredstva (Brewer, 2011). Sekundarni metaboliti biljaka su prirodni proizvodi koji su značajni za biljni svet, ali nemaju direktnu ulogu u primarnim metaboličkim procesima neophodnim za održavanje vitalnih funkcija same biljke. Njihova uloga je da zaštite biljke od bakterija, virusa i gljiva. Utvrđeno je da sekundarni metaboliti pokazuju biološku aktivnost u samom metabolizmu biljaka (fiziološka aktivnost) i u komunikaciji biljke sa okolinom koja je okružuje (ekološka aktivnost) (Popović i sar., 1997).

Antioksidanti igraju važnu ulogu u održavanju uravnotežene ćelijske funkcije neutralizacijom slobodnih radikala kroz različite mehanizme. Prehrambena industrija uveliko koristi sintetske antioksidante kako bi produžila rok trajanja i poboljšala kvalitet i bezbednost svojih proizvoda. Međutim, takvi sintetski antioksidanti nisu poželjni zbog njihove eventualne toksičnosti. Zbog toga su se istraživači fokusirali na identifikaciju prirodnih ekstrakata koji se mogu koristiti kao prirodni antioksidanti (Shebis i sar., 2013; Tsakni i sar., 2023). Mnogi prirodni antioksidanti, pored vitamina C i E, karotenoida, prisutni su u različitim namirnicama, a brojni istraživači objavili su istraživanja kojima su potvrdili postojanje ovih komponenti u plodovima voća i povrća (Moure i sar., 2001). Poslednjih godina interesovanje za prirodne ekstrakte lekovitih biljaka eksponencijalno raste zbog velikog sadržaja fitohemikalija u njima. Među ovim supstancama, polifenolna jedinjenja, uključujući fenolne kiseline i flavonoide, su od posebnog značaja (Tsakni i sar., 2023).

Od davnina su pojedine vrste iz familije štitarki (lat. Apiaceae), prepoznate kao aromatične biljke koje pokazuju niz blagotvornih efekata na ljudsko zdravlje, koristile u tradicionalnoj medicini. Među biljkama iz pomenute familije, celer i peršun se uzgajaju širom sveta, koriste se u svakodnevnoj ishrani ljudi kao začinske biljke, a često se koriste u hemijskoj industriji i medicini. Poznato je da obe vrste poseduju obilje hranljivih materija i fitohemikalija. Bogati su vitaminima, mineralima, karotenoidima, proteinima, polifenolima, flavonoidima, eteričnim uljima i antioksidantima te mogu da se koriste kao nutraceutici. Zbog toga, celer i peršun se mogu označiti kao funkcionalne namirnice, jer mogu obezbediti širok spektar dodatnih pogodnosti za ljude mimo osnovnih prehrambenih potreba, a mogu poslužiti u prevenciji određenih bolesti. U tradicionalnoj medicini celer se koristi kao diuretik i antireumatik. Osim toga, označen je kao vrsta bogata isparljivim terpenoidima i polifenolima, uglavnom kumarinima i flavonoidima. Poznato je da celer može pomoći i u lečenju hipertenzije, dijabetesa i kardiovaskularnih poremećaja, te da pokazuje antioksidativna, antimikrobna i antifungalna dejstva. Slična svojstva se pripisuju i peršunu, jer se navodi da ima karminativno, antispazmodičko, diuretičko, antireumatsko, antipiretičko i antimikrobno djelovanje. Sva ova svojstva čine biljke iz familije Apiaceae visoko cenjenim u ljudskoj ishrani i privlačnim za istraživanje od strane prehrambene i farmaceutske industrije (Arsenov i sar., 2021).

Celer je biljka sa visokim antioksidativnim potencijalom, što je posledica prisustva mnogih jedinjenja (tabela 9). Među bioaktivnim jedinjenjima u ekstraktima korena celera pronađeni su derivati hidroksicimetne kiseline (kafena, ferulna i *p*-kumarinska kiselina, hlorogena kiselina) i flavonoidi, kao što su flavoni (apigenin, hrizin i luteolin) i flavonoli (kemferol, kvercetin i rutin) (Kwak i sar., 2025). Autori Nićetin i saradnici (2022) su prijavili da je među ovim jedinjenjima apigenin najzastupljeniji (700,32 mg/kg_{sm}).

Tabela 9. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinih polifenolnih jedinjenja u korenu celera

Klasa jedinjenja	Biološka aktivnost	Predstavnici	Sadržaj (referenca)
Fenolne kiseline (derivati hidroksibenzoeve	Antioksidativna svojstva	galna kiselina	17,6 μg/g (Kulig i sar., 2019) 6,18 $\mu g/g_{sm}$ (Nićetin i sar., 2022) 1,56 $mg/100g_{sm}$ (Priecina i sar., 2018)

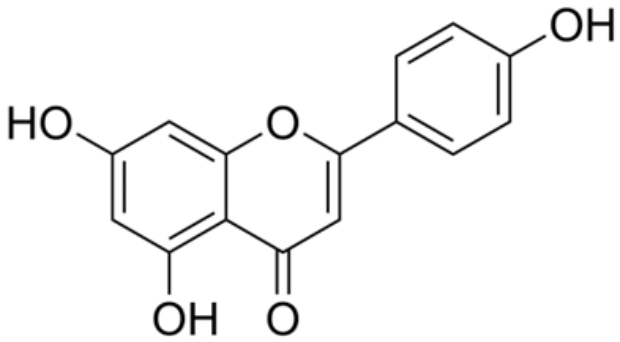
kiseline)		*p*-hidroksibenzoeva kiselina	2,3 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021) 0,22 mg/100g_{sm} (Priecina i sar., 2018)
		siringinska kiselina	ND (Nićetin i sar., 2022) 0,15 mg/100g_{sm} (Priecina i sar., 2018)
		vanilinska kiselina	ND (Nićetin i sar., 2022)
Fenolne kiseline (derivati hidroksicimetne kiseline)	Antioksidativna svojstva	hlorogena kiselina	123,8 μg/g (Kulig i sar., 2019) 4,50 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) 9,14 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021) ND (Priecina i sar., 2018)
		kafena kiselina	4,3 μg/g (Kulig i sar., 2019) 55,46 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) 2,46 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021) ND (Priecina i sar., 2018)
		p-kumarinska kiselina	6,2 μg/g (Kulig i sar., 2019) 81,54 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) LOD (Arsenov i sar., 2021) ND (Priecina i sar., 2018)
		ferulna kiselina	28,8 μg/g (Kulig i sar., 2019) 11,09 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) 13,5 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021) ND (Priecina i sar., 2018)
		cimetna kiselina	4,0 μg/g (Kulig i sar., 2019) 2,4 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021)
Flavonoidi (flavoni)	Antiokisdativna, antiinflamatorna	apigenin	7,5 μg/g (Kulig i sar., 2019) 700,32 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) 0,89 μg/g_{se}(Arsenov i sar., 2021)
		apigenin-7-O-glukozid	0,8 μg/g_{se} (Arsenov i sar., 2021)
		apiin	705,41 μg/g_{se}(Arsenov i sar., 2021) 180,7 mg/100 g_{sm}(Kaiser i sar., 2013)
Flavonoidi (flavonoli, flavan-3-oli)	Antioksidativna, antikancerogena	kvercetin	ND (Kulig i sar., 2019) 12,34 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) ND (Priecina i sar., 2018)
		rutin	37,1 μg/g (Kulig i sar., 2019) 23,61 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022)
		epikatehin	ND (Kulig i sar., 2019) ND (Priecina i sar., 2018)
		katehin	ND (Nićetin i sar., 2022) 17,89 mg/100g_{sm} (Priecina i sar., 2018)
		kemferol	600,26 μg/g_{sm} (Nićetin i sar., 2022) ND (Priecina i sar., 2018)

Napomena: se–suvi ekstrakt, sm–suva materija, ND–nije detektovano, LOD–ispod limita detekcije

U istraživanju Popova i saradnika (2014) analizom korena celera uzgojenog na području Bugarske, otkriveno je da su polifenolna jedinjenja primarne antioksidativne komponente, uključujući polarne flavonoide zajedno sa njihovim glikozidima i fenolnim kiselinama, uz prisustvo i nekoliko bioaktivnih jedinjenja, kao što su 3-n-

butilftalid, alil-fenoksiacetat, izoknidilid i neoknidilid. Takođe, identifikovano je i nekoliko derivata furokumarina u korenu celera, koji su poznati po svojim antioksidativnim, antimikrobnim, neuroprotektivnim i antikancerogenim svojstvima.

Među širokim spektrom polifenolnih jedinjenja, apigenin je jedan od najpoznatijih i karakterističan je za biljne vrste iz familije Apiaceae, sa bezbrojnim nutritivnim pogodnostima (Salehi i sar., 2019). Apigenin (4′, 5, 7-trihidroksiflavon) je flavon u kategoriji flavonoida koji je u izobilju prisutan u voću, povrću, orašastim plodovima, luku, narandžama i čaju (Shukla i sar., 2019).



Slika 9. Struktura apigenina (Gawish i sar., 2016)

U poređenju sa drugim flavonoidima (kvercetin, kemferol, luteolin i drugi), apigenin ima najniži nivo toksičnosti. Nekoliko studija je pokazalo da apigenin ima širok spektar korisnih svojstava, uključujući antiinflamatorna, antikancerogena, antivirusna, antioksidativna i sposobnost uklanjanja slobodnih radikala (Yan i sar., 2014). Zbog raznih farmakoloških aktivnosti apigenina i pozitivnih efekata na ljudsko zdravlje, produbljivanje znanja o njegovom mehanizmu delovanja bilo bi od velike važnosti za moguće nutritivne primene, u smislu primene u vidu fitokompleksa ili dodatka hrani biljnog odnosno životinjskog porekla (Salehi i sar., 2019). Preporučeni dnevni unos apigenina razlikuje se među zemljama širom sveta. Rezultati studije u Holandiji otkrili su da je 16 mg apigenina dnevno dovoljno za redovni unos, dok se u holandskoj ishrani preporučuje unos od 1–1,5 mg dnevno (Mushtaq i sar., 2023).

Pregledom literature datom u tabeli 10, nekoliko studija pružilo je uvid u antioksidativni kapacitet korena celera analizom sadržaja ukupnih polifenola i flavonoida te sprovođenjem antioksidativnih testova. U radu Popova i saradnika (2014), ukupan sadržaj polifenola u korenu celera iznosio je oko 11 mg galne kiseline

ekvivalent (GAE)/g, a ukupan sadržaj flavonoida bio je oko 2 mg kvercetin ekvivalent (QE)/g.

Tabela 10. Pregled literaturnih podataka o antioksidativnoj aktivnosti korena celera

Sadržaj ukupnih polifenola	11 mg GAE/g	Popova i sar. (2014)
	2,2 mg GAE/g	Salamatullah i sar. (2021)
	3,63 mg GAE/g_{sm}	Priecina i Karklina (2014)
	4,66 mg GAE/g_{sm}	Priecina i sar. (2018)
	2,99 mg GAE/g	Đurović i sar. (2023)
	1,13-1,43 mg GAE/g_{sm}	Milić i sar. (2024)
	1,16 mg GAE/g	Nurkhoeriyati i sar. (2021)
	137,31-143,34 mg GAE/100g_{sm} (osušeni uzorci)	Kręcisz i sar. (2023)
Sadržaj ukupnih flavonoida	2 mg QE/g	Popova i sar. (2014)
	1,2 mg/g_{sm}	Kaiser i sar. (2013)
	0,36-0,54 mg CE/g_{sm}	Milić i sar. (2024)
	3,25 mg CE/g_{sm}	Priecina i Karklina (2014)
	3,48 mg CE/g_{sm}	Priecina i sar. (2018)
Sadržaj ukupnih flavonola	0,33 mg RE/g_{sm}	Priecina i Karklina (2014)
	0,49 mg RE/g_{sm}	Priecina i sar. (2018)
Sadržaj ukupnih flavan-3-ola	71,66 mg CE/g_{sm}	Priecina i Karklina (2014)
	ND	Priecina i sar. (2018)
Antioksidativna aktivnost	IC_{50}^{DPPH}=73,9 mg/mL	Plećić i sar. (2024)
	IC_{50}^{DPPH} =39,71 µg/mL (suvi ekstrakt)	Aboody (2021)
	IC_{50}^{DPPH} =2,41-3,14 mg/mL	Nikolić i sar. (2011)
	IC_{50}^{DPPH}=85,6-274,1 mg/mL	Milić i sar. (2024)
	IC_{50}^{ABTS}=48,68 µg/mL (suvi ekstrakt)	Aboody (2021)
	DPPH 1,26 µmol TE/g_{sm}	Priecina i sar. (2018)
	DPPH 222,48-386,01 µmol TE/100g_{sm}	Kręcisz i sar. (2023)
	ABTS 1,36 µmol TE/g_{sm}	Priecina i sar. (2018)
	ABTS 624,41-721,53 µmol TE/100g_{sm}	Kręcisz i sar. (2023)
	DPPH 0,68 µM TE/g_{sm}	Priecina i Karklina (2014)
	ABTS ND	Priecina i Karklina (2014)
	FRAP 0,5 mmol TE/kg_{sm}	Kaiser i sar. (2013)
	FRAP 141,53-163,40 µmol TE/100g_{sm}	Kręcisz i sar. (2023)
	DPPH 5,63 µmol Trolox/g_{sm}	Nurkhoeriyati i sar. (2021)

Napomena: sm–suva materija, GAE–galna kiselina ekvivalent, QE–kvercetin ekvivalent, CE–katehin ekvivalent, RE–rutin ekvivalent, TE–troloks ekvivalent, ND–nije detektovano.

Prema drugim istraživanjima, sadržaj ukupnih polifenola bio je značajno niži (1,13-4,66 mg GAE/g) (Đurović i sar., 2023; Milić i sar., 2024; Nurkhoeriyati i sar., 2021; Priecina i sar., 2018; Prieciņa i Kārkliņa, 2014; Salamatullah i sar., 2021; Kręcisz i sar., 2023). Sadržaj ukupnih flavonoida prema određenim literaturnim podacima kretao se od 0,36-3,48 mg/g (Kaiser i sar., 2013; Milić i sar., 2024; Popova i sar., 2014; Priecina i sar., 2018; Priecina i Karklina, 2014).

Sadržaj ukupnih flavonola i flavan-3-ola prema literaturnim navodima kretao se od 0,33-0,49 mg RE/g_{sm} i 0-71,66 mg CE/g_{sm}, respektivno (Priecina i sar., 2018; Priecina i Karklina, 2014). Antioksidativna aktivnost korena celera prema DPPH radikalu, izražena preko IC_{50} vrednosti, dosta je varirala prema literaturnim podacima: od 39,71 µg/mL do 274,1 mg/mL (Aboody, 2021; Milić i sar., 2024; Nikolić i sar., 2011; Plećić i sar., 2024). Prema $DPPH^{\bullet}$ testu, autori Priecina i saradnici (2018), Priecina i Karklina (2014) i Kręcisz i saradnici (2023) prijavili su vrednosti u iznosu od 1,25 µmol TE/g_{sm}, 0,68 µM TE/g_{sm} i 222,48-386,01 µmol TE/100g_{sm}, respektivno. Prema autorima Aboody (2021), Priecina i saradnici (2018) i Kręcisz i saradnici (2023) antioksidativna aktivnost korena celera prema $ABTS^{\bullet+}$ testu iznosila je 48,68 µg/mL (IC_{50}), 1,36 µmol TE/g_{sm} i 624,41-721,53 µmol TE/100g_{sm}, respektivno, a prema FRAP testu 0,5 mmol TE/kg_{sm} (Kaiser i sar., 2013) i 141,53-163,40 µmol TE/100g_{sm} (Kręcisz i sar., 2023).

Proizvodi dobijeni od celera poznati su po svojim antihiperlipidemijskim, antikancerogenim, antihiperglikemijskim, antioksidativnim i antiinflamatornim svojstvima. Takođe su prepoznati kao bogat izvor supstanci sa antimikrobnim delovanjem, uključujući limonen, glavne supstance odgovorne za antimikrobno dejstvo. Eterično ulje ekstrahovano iz semenki celera bogato je (R)-(+)-limonenom, atraktivnim aromatičnim jedinjenjem koje se široko koristi u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji. Limonen, koji se nalazi u korenu i semenkama celera, pokazuje svoj antimikrobni efekat rastvaranjem lipida u citoplazmatičnoj membrani bakterija zbog svoje hidrofobne prirode što za posledicu narušava integritet membrane, povećavajući njezinu propustljivost i uzrokujući gubitak esencijalnih intracelularnih komponenti poput proteina i nukleinskih kiselina. Prah korena celera se često koristi kao začin u određenim namirnicama, kao što su supe i mesni proizvodi (Coşansu i sar., 2024; Malhotra, 2012). Poznato je da je antimikrobna

efikasnost nekog jedinjenja proporcionalna njegovoj koncentraciji. Međutim, kada se koriste prirodni izvori biološki korisnih jedinjenja (začini, ekstrakti i slično), važno je osigurati da oni ne utiču na senzorski kvalitet ili prihvatljivost proizvoda za potrošače (Coşansu i sar., 2024).

Istraživanja su pokazala da ekstrakti korena celera poseduju i određeni nivo antimikrobne aktivnosti prema bakterijama i gljivicama. Prema Aboody (2021), ekstrakt korena celera pokazao je zonu inhibicije od 9 mm protiv *Staphylococcus aureus* uz minimalnu inhibitornu koncentraciju (MIC) od 250 µg/mL, dok je protiv *Aspergillus niger* zabeležena inhibicija od 10 mm pri MIC vrednosti od 500 µg/mL. Autori Đurović i saradnici (2023) su prijavili MIC za *Listeria monocytogenes* u iznosu od 50 mg/mL, dok je za *S. aureus* MIC iznosio 100 mg/mL. S druge strane ekstrakt nije pokazao značajnu aktivnost protiv gram-negativnih bakterija kao što su *Escherichia coli* i *Salmonella enteritidis*, za koje je MIC iznosio više od 200 mg/mL. U tabeli 11 dat je pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti korena celera**.**

Tabela 11. Pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti korena celera

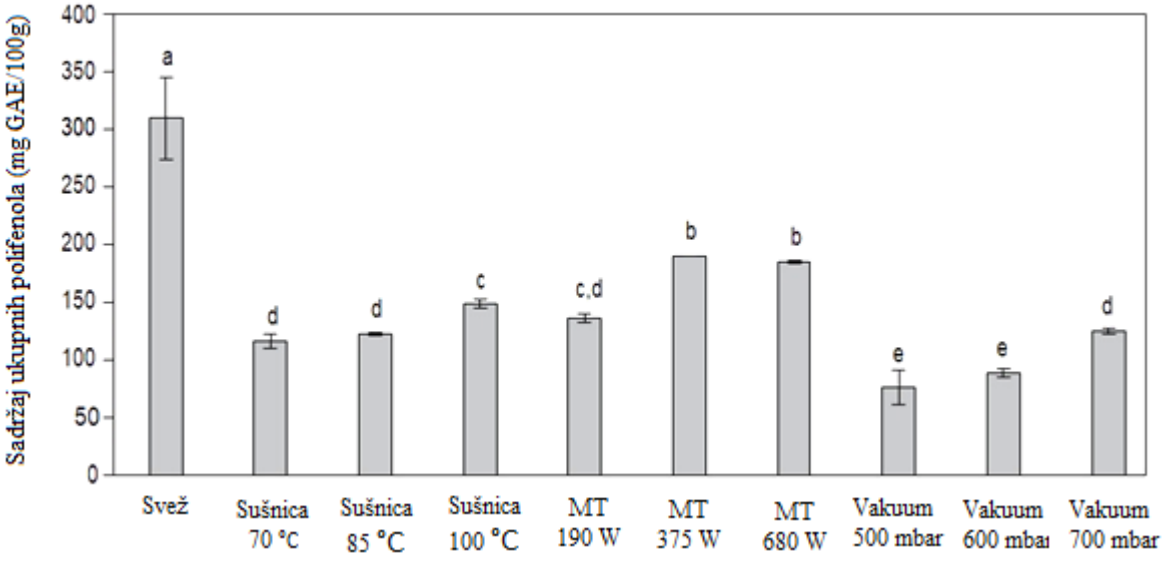
Mikroorganizam	**Zona inhibicije ili MIC**	**Referenca**
S. aureus	9 mm, MIC=250 µg/mL	Aboody (2021)
	MIC=100 mg/ml	Đurović i sar. (2023)
A. niger	10 mm, MIC=500 µg/mL	Aboody (2021)
L. monocytogenes	MIC=50 mg/mL	Đurović i sar. (2023)
E. coli	MIC>200 mg/ml	Đurović i sar. (2023)
S. enteritidis	MIC>200 mg/ml	Đurović i sar. (2023)

Takođe sprovedena su i istraživanja o sadržaju bioaktivnih jedinjenja i antioksidativnoj aktivnosti korena celera nakon tehnološkog procesa sušenja. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost identifikovani su u korenu celera i nakon sušenja, uprkos određenim promenama (Nurkhoeriyati i sar., 2023). Tokom sušenja, sadržaj ukupnih polifenola je ubrzo opao, nakon čega je usledila stabilizacija, dok se antioksidativna aktivnost istovremeno povećala, verovatno zbog formiranja međuproizvoda oksidacije ili proizvoda Majlardove reakcije koji poseduju

antioksidativna svojstva. Smanjenje sadržaja polifenolnih jedinjenja je verovatno posledica enzimske aktivnosti, izlaganja povišenim temperaturama i kiseoniku.

Prema autorima Karabacak i saradnici (2018) sadržaj ukupnih polifenola u osušenim uzorcima celera značajno je zavisio od primenjenog postupka sušenja. U pomenutom istraživanju korišćeni su sledeći postupci sušenja: sušenje u sušnici na 70 °C, 85 °C i 100 °C; mikrotalasno sušenje snagom 190 W, 375 W i 680 W; vakuum sušenje pri pritisku 500 mbar, 600 mbar i 700 mbar i temperaturi od 70 °C. Poredeći sa svežim uzorkom celera, sadržaj ukupnih polifenola u osušenim uzorcima je bio niži i to u rasponu od 38,51% do 75,34%. Poredeći sa ostalim postupcima sušenja, mikrotalasnim sušenjem (375 W) najviše se očuvao sadržaj ukupnih polifenola (slika 10). S druge strane, sušenje u vakuumu pri 500 mbar pokazala se kao najlošija tehnika sa stanovništva očuvanja polifenolnih komponenti.

Takođe, ovi autori navode da je sušenje pod vakuumom rezultovalo nižim sadržajem ukupnih polifenola u odnosu na postupak sušenja u običnoj sušnici (pri temperaturama u iznosu od 70 °C, 85 °C i 100 °C). Smatra se da je ovakav rezultat povezan sa dugim vremenom sušenja u vakuumu.



Slika 10. Uticaj različitih postupaka sušenja (svež uzorak; sušenje u sušnici na 70 ˚C, 85 ˚C i 100 ˚C; mikrotalasno sušenje snagom 190 W, 375 W i 680 W; vakuum sušenje pri pritisku 500 mbar, 600 mbar i 700 mbar i temperaturi od 70˚C) na sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima celera (MT-mikrotalasno). Različita slova iznad stubova označavaju statitistički značajnu razliku između uzoraka ($p<0.05$) (Karabacak i sar., 2018)

Smanjenje sadržaja ukupnih polifenola tokom sušenja mogao bi se pripisati vezivanju polifenola na druga jedinjenja ili zbog promene hemijske strukture, kao posledica degradacije. Rezultati ovog istraživanja bili su u skladu i sa nekim drugim istraživanjima. Efekti sušenja na ukupan sadržaj polifenola tako se menjaju u zavisnosti od vrste namirnice, primenjenog postupka sušenja i parametara procesa. S druge strane, antioksidativni kapacitet svežih uzoraka celera bio je najniži, a ova vrednost se značajno razlikovala od one dobijene iz uzoraka podvrgnutih bilo kom od tretmana sušenja. Pored toga, celer osušen u mikrotalasnoj peći pokazao je bolju antioksidativnu aktivnost u odnosu na ostale postupke sušenja. Ovo povećanje se pripisuje razvoju antioksidativnih svojstava komponenti koje su prirodno prisutne ili zbog nastanka proizvoda sa antioksidativnim delovanjem tokom Majlardove reakcije. Dakle, prema ovom istraživanju, poredeći sa svežim uzorcima celera, ukupan sadržaj polifenola je smanjen, a antioksidativna aktivnost je povećana primenom različitih postupaka sušenja (Karabacak i sar., 2018). Takođe, Kręcisz i saradnici (2023) su pratili uticaj pojedinih postupaka sušenja na karakteristike celera. Postupci sušenja, kao i parametri koji su korišćeni, prikazani su u tabeli 12.

Tabela 12. Pregled postupaka i parametara sušenja korena celera (Kręcisz i sar., 2023)

Postupak sušenja	Parametri sušenja
Sušenje u sušnici	Temperature sušenja iznosile su 50 °C, 60 °C i 70 °C, a brzina strujanja vazduha iznosila je 0,5 m/s
Vakuum sušenje	Temperatura vazduha 60 °C i pritisak vazduha 10 kPa
Sušenje zamrzavanjem	Pritisak 5 kPa, temperatura zamrzavanja -20 °C

Nasuprot tvrdnjama autora Karabacak i saradnika (2018), autori Kręcisz i saradnici (2023) su u svom istraživanju ustanovili da se sušenje u vakuumu pokazalo optimalnim u smislu minimalne degradacije polifenolnih jedinjenja. Takođe, uzorci tretirani ovim postupkom pokazali su i najveći antioksidativni kapacitet s obzirom na DPPH radikal. S druge strane, ovaj postupak ne bi bio najbolji izbor ukoliko bi se želela sačuvati boja celera. U tom slučaju sušenje u sušnici na 50 ˚C bi bio odgovarajući (tabela 13).

Tabela 13. Uticaj postupaka sušenja na pojedine karakteristike korena celera (Kręcisz i sar., 2023)

Postupak sušenja	Ukupni polifenoli[1]	DPPH[2]	Suva materija (%)	Aktivnost vode	Parametri boje		
					L*	a*	b*
Svež	-	-	10,12±0,46	0,976±0,00	83,24±0,42	− 1,66±0,06	13,25±0,64
Sušenje zamrzavanjem	143,34±2,08	386,01±0,67	99,65±0,07	0,088±0,0	88,79±0,65	− 1,44±0,35	15,1±1,05
Vakuum sušenje	164,56±1,77	521,99±4,60	98,69±0,10	0,110±0,02	75,95±2,02	− 0,38±0,60	18,67±1,06
Sušenje u sušnici na 50˚C	128,29±2,83	222,48±4,24	93,02±1,38	0,436±0,02	82,42±0,77	− 0,20±0,32	18,00±0,69
Sušenje u sušnici na 60˚C	135,72±3,41	335,49±2,79	93,56±1,58	0,346±0,02	83,32 ± 2,3	− 1,46±0,15	15,94±0,43
Sušenje u sušnici na 70˚C	137,31±3,79	359,81±3,3	95,16±0,93	0,314±0,0	83,71±0,47	− 0,91±0,31	19,70±0,71

Napomena: [1]rezultati izraženi kao mg galne kiseline/100g suve materije; [2]rezultati izraženi kao μmol Troloksa/100g

U skladu sa rezultatima DPPH$^{\bullet}$ testa, autori Marić i saradnici (2020) ustanovili su smanjenje antioksidativne aktivnosti svih tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolni. Takođe, autori Marić i saradnici (2020) ustanovili su i smanjenje i povećanje antioksidativne aktivnosti korena celera sa povećanjem temperature sušenja (sa ili bez značajne razlike) u zavisnosti od načina ekstrakcije i vrste ekstragensa, kao i viši i niži antioksidativni kapacitet konvektivno osušenih uzoraka u odnosu na liofilizovani uzorak korena celera. Isti autori su prijavili da se liofilizacijom u najvećoj meri očuvao antioksidativni kapacitet uzoraka. S druge strane, autori Priecina i saradnici (2018) prijavili su povećanje sadržaja ukupnih polifenola (sa 4,66 mg GAE/g_{sm} na 8,53 mg GAE/g_{sm}) kao i antioksidativne aktivnosti s obzirom na DPPH radikal (sa 1,26 μmol Troloksa/g_{sm} na 1,39 μmol Troloksa/g_{sm}) i ABTS radikal (sa 1,36 μmol Troloksa/g_{sm} na 6,91 μmol Troloksa/g_{sm}) nakon konvektivnog sušenja uzoraka korena celera na 45 °C.

Najčešći konzumirani anatomski delovi peršuna (*Petroselinum crispum*) su njegovi listovi. Međutim, postoje zemlje, posebno u južnoj i istočnoj Evropi, gde se koren peršuna univerzalno koristi u gastronomiji. Koren peršuna se obično koristi za

obogaćivanje ukusa jela ili kao sporedna komponenta jela, na primer, u pilećoj supi. Apigenin je jedna od najpoznatijih komponenti peršuna (Knez i sar., 2022).

Peršun se koristi kao lekovita biljka za različite bolesti kao što su bolesti gastrointestinalnog trakta, kao i bubrega i donjih urinarnih traktova, i za stimulisanje varenja. Koren se koristi i kao snažan diuretik, karminativ, gastrotonik, antiseptik urinarnog trakta, antiinflamatorno sredstvo, sredstvo protiv urolitijaze, hipertenzije, srčanih bolesti, otitisa, dijabetesa, a takođe, u tradicionalnoj i narodnoj medicini koristi se u lečenju raznih kožnih bolesti (Farzaei i sar., 2013).

Autori Petropoulos i saradnici (2022) su ispitali sadržaj pojedinačnih bioaktivnih komponenti u ekstraktu korena peršuna različitih sorti, gde su otkrili prisustvo nekoliko različitih bioaktivnih jedinjenja i to uglavnom flavonoida i hidrolizujućih tanina. Prema navedenom istraživanju, sadržaj ukupnih flavonoida se kretao u opsegu od 7,32-56 mg/g ekstrakta, dok je sadržaj ukupnih polifenola varirao između 9,93-59 mg/g. Od flavonoida, apigenin-O-pentozid-O-heksozid bio je najdominantniji (1,36-24 mg/g), a potom apigenin-O-acetil-heksozil-pentozid (1,22-18,3 mg/g).

Širok raspon koncentracija ukazuje na zavisnost koncentracije određenog jedinjenja od sorte. U ekstraktu su detektovani i acetilovani derivati luteolina i kemferola, odnosno acetilovani luteolin heksozil-ramnozid (0,663-7,36 mg/g) i kemferol-3,7-di-O-glukozid (0,503-2,16 mg/g). Od hidrolizujućih tanina, dominantni su kastalagin/veskalagin i galoil-bis-HHDP-glukoza, dok je ukupan sadržaj ove klase jedinjenja iznosio između 1,27 mg/g i 2,89 mg/g. Ukupne fenolne kiseline bile su prisutne u nižim koncentracijama (0,08-1,9 mg/g). U tabeli 14 dat je pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna.

Tabela 14. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna (Petropoulos i sar., 2022)

Bioaktivna komponenta	**Klasa jedinjenja**	**Opseg koncentracija (mg/g ekstrakta)**
Luteolin 7-O-[6″-dihidrogaloil]-glukozil-8-C-pentozil-(1→6)-glukozide	flavonoid	0,451-0,57
Kastalagin/veskalagin	hidrolizujući tanin	1,236-1,385
Galoil-bis-HHDP-glukoza	hidrolizujući tanin	1,234-1,404
Apigenin-O-pentozid-O-heksozid	flavonoid	1,36-24
Kemferol-3,7-di-O-glukozid	flavonoid	0,503-2,16
Kemferol-(acil)glukuronid-O-ramnozid izomer II	flavonoid	0,505-1,28
Acetilovani apigenin-C-heksozid-O-pentozid	flavonoid	0,11-3,48
Apigenin-O-acetil-heksozil-pentozid	flavonoid	1,22-18,3
Acetilovani luteolin heksoksil-ramnozid	flavonoid	0,663-7,36
Kemferol-(*p*-kumaril)-heksozid18	flavonoid	0,539-1,91
Ukupne fenolne kiseline		0,08-1,9
Ukupni flavonoidi		7,32-56
Ukupni hidrolizujući tanini		1,27-2,89
Ukupni polifenoli		9,93-59

Prema rezultatima Dobričević i saradnika (2019), nakon spektofotometrijske analize potvrđen je sadržaj ukupnih polifenola u korenu peršuna u iznosu od 0,55-0,75 mg GAE/g, u zavisnosti od sorte. Takođe, autori su analizirali i sadržaj ukupnih neflavonoida (u opsegu 0,29-0,41 mg GAE/g) i flavonoida (u opsegu 0,26-0,36 mg GAE/g). Antioksidativna aktivnost korena peršuna, s obzirom na $ABTS^{\bullet+}$ test, bila je u opsegu 0,69-0,98 mmol TE/L. U tabeli 15 dat je tabelarni pregled sadržaja ukupnih polifenola, neflavonoida, flavonoida kao i antioksidativna aktivnost korena peršuna prema pomenutom autoru.

Tabela 15. Sadržaj ukupnih polifenola, neflavonoida i flavonoida i antioksidativna aktivnost korena peršuna (mg/g sveže materije) (Dobričević i sar., 2019)

Parametar	**Sadržaj**
Ukupni polifenoli	0,55-0,75 mg GAE/g
Ukupni neflavonoidi	0,29-0,41 mg GAE/g
Ukupni flavonoidi	0,26-0,36 mg GAE/g
ABTS	0,69-0,98 mmol TE/L

Napomena: GAE–galna kiselina ekvivalent, TE–troloks ekvivalent.

U istraživanju Arsenov i saradnika (2021), među fenolnim kiselinama, dominantna je bila ferulna kiselina, nakon čega je sledela hlorogena kiselina (tabela 16). Pored toga, peršun je bio bogat protokatehinskom, 2,5-dihidroksibenzoevom i *p*-kumarinskom kiselinom, sa značajno višim nivoima u poređenju sa onima primećenim kod celera u istom istraživanju. Među flavonoidima, apigenin i njegovi glukozidi su dominirali. Od svih polifenolnih jedinjenja, apiin (glikozid apigenina) je bio najdominantniji u korenu peršuna. Prema Sung i saradnicima (2016), peršun se može označiti kao jedan od glavnih izvora apigenina, uz to što je apigenin takođe u većoj količini prisutan u cvetu kamilice, celeru i spanaću. Što se tiče derivata kumarina, ključna jedinjenja u korenu peršuna bila su skopoletin, umbeliferon i eskuletin (koji su ustanovljeni i kod celera).

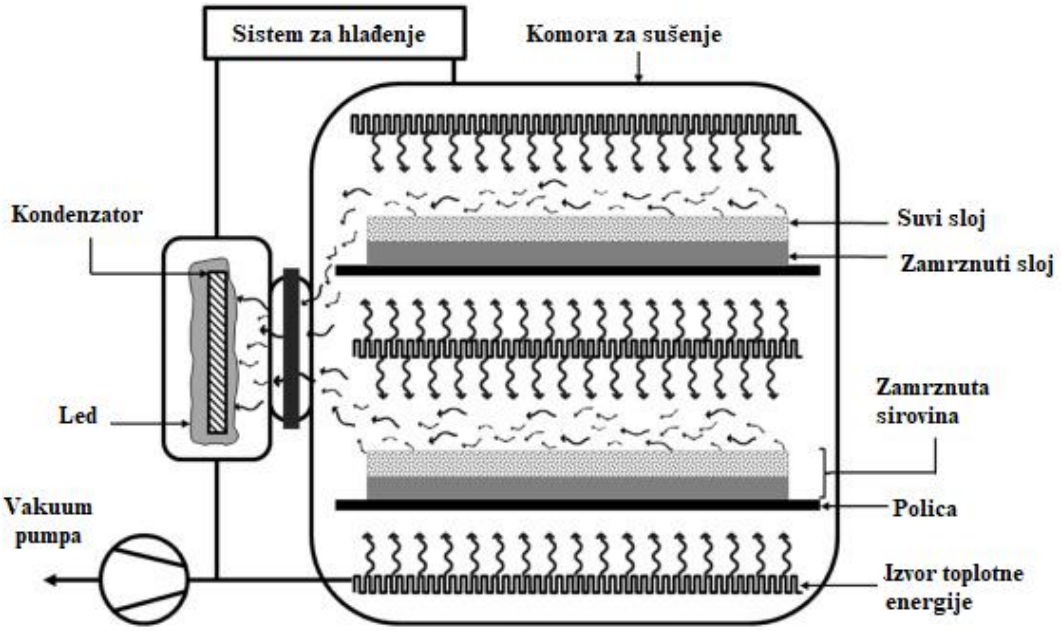
Antimikrobna svojstva peršuna pripisuju se eteričnom ulju, koje sadrže bioaktivna jedinjenja poput monoterpena, apiola i miristicina. Ova jedinjenja inhibiraju rast različitih bakterijskih i gljivičnih sojeva. Nedavna istraživanja ističu da esencijalno ulje peršuna efikasno sprečava rast gljivica, posebno vrstu *Aspergillus flavus*, u prehrambenim proizvodima poput sira, što ukazuje na njegov potencijal za upotrebu u konzervisanju hrane. Pored toga, studije pokazuju značajno antibakterijsko dejstvo protiv gram-pozitivnih i gram-negativnih bakterija i antifungalno dejstvo protiv gljivice *Candida albicans*. Peršun pokazuje značajne antihiperglikemijske efekte kroz višestruke mehanizme.

Tabela 16. Polifenolna jedinjenja (μg/g suvog ekstrakta) u korenu peršuna (Arsenov i sar., 2021)

Fenolno jedinjenja	**Sadržaj (μg/g suvog ekstrakta)**
p-hidroksibenzoeva kiselina	LOD
cimetna kiselina	2,18
protokatehinska kiselina	1,79
2,5-dihidroksibenzoeva kiselina	2,68
p-kumarinska kiselina	1,55
kafena kiselina	2,84
ferulna kiselina	15,4
hlorogena kiselina	9,83
apigenin	1,83
apigenin-7-O-glukozid	2,32
krizoeriol	0,07
apiin	2266,3
umbeliferon	0,56
eskuletin	0,1
skopoletin	13,0

Zahvaljujući flavonoidima poput apigenina, smanjuje nivo glukoze u krvi, podstiče lučenje insulina i poboljšava metabolizam glukoze. Ekstrakt peršuna povećava nivo insulina u plazmi i aktivnost piruvat-kinaze u jetri, poboljšavajući funkciju insulina. Njegova snažna antioksidativna svojstva smanjuju nivoe markera oksidativnog stresa i poboljšavaju aktivnost antioksidativnih enzima, štiteći β-ćelije pankreasa od oštećenja. Pored toga, antiinflamatorna svojstva peršuna pomažu u ublažavanju upale, dodatno podržavajući funkciju insulina i metabolizam glukoze. Ovi kombinovani efekti ističu potencijal peršuna u lečenju dijabetesa (Alobaidi, 2024). Prema istraživanju Ahmed i saradnika (2021), 70% etanolni ekstrakt nadzemnih delova peršuna nisu pokazali antimikrobni efekat na *S. aureus*, dok je protiv *E. coli* ustanovljena zona inhibicije od 8 mm.

Marić i saradnici (2020) su u svom radu ispitivali uticaj različitih postupaka sušenja na karakteristike korena peršuna. Od postupaka sušenja koristili su sušenje u sušnici na temperaturi od 50 °C i 70 °C u trajanju od 6 sati i sušenje zamrzavanjem (liofilizacijom) na temperaturi od -70 °C, a proces je trajao 20 sati. Šema liofilizatora prikazana je na slici 11.



Slika 11. Šematski prikaz liofilizatora (modifikovano prema Garcia-Amezquita i saradnici (2016))

U liofilizovanim uzorcima uočena je najmanja promena boje. S druge strane, najveća promena boje ustanovljena je kod uzoraka osušenih na 70 °C (tabela 17).

Tabela 17. Uticaj različitih postupaka sušenja na boju korena peršuna (Marić i sar., 2020)

Postupak sušenja	**L***	**a***	**b***
Svež	71,35±9,98	-0,67±0,31	12,11±1,48
Sušenje u sušnici na 50 °C	63,39±8,86	0,64±0,12	16,59±1,29
Sušenje u sušnici na 70 °C	62,13±1,78	2,44±0,66	18,56±1,66
Sušenje zamrzavanjem	81,62±3,47	-1,64±0,23	13,17±0,80

Prema istraživanju Marić i saradnici (2020), sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima korena peršuna je značajno smanjen nakon sušenja na 50 °C i 70 °C te nakon liofilizacije u odnosu na kontrolni uzorak, a sadržaj ovih jedinjenja je zavisio od vrste ekstragensa i načina ekstrakcije. Sličan trend je uočen i kod antioksidativne aktivnosti.

Kurkuma (*Curcuma longa*) je začinska biljka široko distribuisana i često korišćena u tropskim i suptropskim regijama sveta, a posebno u azijskim zemljama. Koristi se kao tradicionalna biljka za lečenje upalnih stanja, sepse i rana. Takođe, pokazuje razne biološke aktivnosti kao što su: antioksidativna, antibakterijska, antifungalna, antipiretička, antihiperholesterolemijska i druge. Ove potencijalne korisne aktivnosti pripisuju se polifenolnim jedinjenjima koje ova biljka poseduje (Yang i sar., 2020).

Svojim korišćenjem u narodnoj medicini, još od davne istorije, biljke familije đumbirovki (Zingiberaceae) sve više dobijaju na popularnosti među ljudima. Zingiberaceae je najznačajnija familija unutar reda *Zingiberales*, a rodovi i vrste ovog reda poseduju raznovrsne bioaktivne supstance sa velikom etnofarmakološkom vrednosti. Ova familija obuhvata više od 50 rodova, sa 1300 vrsta, i široko je rasprostranjena u tropskim i suptropskim klimatskim područjima, sa najznačajnijom raznolikošću u Južnoj i Jugoistočnoj Aziji. Nekoliko rodova ove familije, uključujući *Alpinia*, *Zingiber*, *Curcuma*, *Hedychium*, *Amomum*, *Elettaria* i *Kaempferia*, poznati su po svojim lekovitim svojstvima, kao što pokazuju javanski đumbir (*Curcuma xanthorrhiza* D. Dietr.), kurkuma (*Curcuma longa* L.), galangal (*Alpinia galanga* L.) i đumbir (*Zingiber officinale* Roscoe). Boja rizoma može se razlikovati u zavisnosti od vrste, i to u rasponu od bledožute do tamnožute, zelenkastoplave, ružičaste ili kombinacije ovih boja. Rizomi obično sadrže listove raspoređene poprečno ili paralelno, sa morfološki različitim strukturama, oblicima i veličinama. Vrste roda kurkume se vekovima koriste za rešavanje diskretnih zdravstvenih komplikacija. Glavne bioaktivne komponente rizoma kurkume su neisparljivi kurkuminoidi, kao i isparljivi seskviterpenoidi i monoterpenoidi. Kurkuminoidi uključuju kurkumin, demetoksikurkumin i bisdemetoksikurkumin. I demetoksikurkumin i bisdemetoksikurkumin su analozi kurkumina, a ova tri polifenolna jedinjenja su odgovorni za žutu boju rizoma kurkume. S druge strane, seskviterpenoidi i monoterpenoidi su glavne klase jedinjenja koja se nalaze u eteričnom ulju. Kurkuma

poseduje širok spektar farmakoloških aktivnosti - uključujući antikancerogene i antiinflamatorne - zbog visokog sadržaja kurkumina (Yit i Zainal-Abidin, 2024).

Pregledom literature ustanovljeno je da rizom kurkume poseduje značajne nivoe antioksidanata, pri čemu literaturne vrednosti za pojedine parametre značajno variraju. Pa tako, sadržaj ukupnih polifenola u ispitivanim uzorcima kurkume kretao se u širokom opsegu. Pal i saradnici (2020) prijavili su sadržaj ukupnih polifenola u rasponu od 5,56 do 9,48 mg GAE/g suve materije za sorte TCP244, TCP200, TCP67, TCP195 i TCP2, dok su autori Komonsing i saradnici (2022), Wu i saradnici (2024), Muflihah i saradnici (2021) i Barbosa i Minguillan (2021) (uzorak osušen na suncu) zabeležili značajno više vrednosti u iznosu od 34,9-53,4 mg GAE/g, 27,12 mg GAE/g, 32,57 mg GAE/g i 32,36 mg GAE/g, respektivno. Sadržaj ovih materija, izražen na masu suvog ekstrakta, prema istraživanju Quirós-Fallas i saradnici (2022) iznosio je 214,8-301,0 mg GAE/g, dok je prema Akter i saradnicima (2019) bio značajno niži i kretao se u opsegu od 59,2-157,4 mg GAE/g. Slično polifenolima, sadržaj ukupnih flavonoida je takođe varirao. Ghasemzadeh i saradnici (2012) su prijavili vrednost za sadržaj ukupnih flavonoida u iznosu od samo 0,094 mg QE/g_{sm}, Pal i saradnici (2020) navode vrednosti između 4,46 i 11,05 mg QE/g suve materije, Muflihah i saradnici (2021) 279,87 mg QE/g, dok su Akter i saradnici (2019) pronašli znatno više vrednosti, u opsegu od 620,7 mg RE/g do 1089,5 mg RE/g suvog ekstrakta.

Antioksidativna aktivnost uzoraka rizoma kurkume ispitana je $DPPH^{\bullet}$ metodom i izražena IC_{50} vrednošću (koncentracija potrebna za inhibiciju 50% slobodnih radikala), pri čemu su opet prisutne značajne varijacije među rezultatima. Pal i saradnici (2020) i Hirun i saradnici (2014) prijavili su vrednosti od 78,17 µg/mL do 124,81 µg/mL i 57,2 mg/L, respektivno, dok su Quirós-Fallas i saradnici (2022) izmerili znatno niže vrednosti IC_{50} – od 15,21 µg/mL do 29,12 µg/mL, što ukazuje na jaču antioksidativnu aktivnost. Autori Tiveron i saradnici (2012) i Ghasemzadeh i saradnici (2012) su prijavili vrednosti za IC_{50} u iznosu od 21,14 mg/mL i 600,7 µg/mL, respektivno. Za suvi ekstrakt kurkume autori Akter i saradnici (2019) i Khatun i saradnici (2021) su prijavili vrednosti u rasopnima od 26,4-291,3 µg/mL i 144,44-258,29 µg/mL, respektivno. Rezultati $ABTS^{\bullet+}$ testova, izraženi kao troloks ekvivalent (TE) vrednost ili IC_{50}, takođe su se razlikovali. Wu i saradnici (2024) su izvestili o

1,70 μmol TE/g, dok su Pal i saradnici (2020) zabeležili vrednosti za IC_{50} između 89,26 i 109,48 μg/mL. U okviru FRAP testa, Tiveron i saradnici (2012) su prijavili vrednost od 169,1 μmol Fe^{2+}/g_{sm}. Pregled literaturnih podataka o sadržaju ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i antioksidativnoj aktivnosti rizoma kurkume dat je u tabeli 18.

Tabela 18. Pregled literaturnih podataka o sadržaju ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida i antioksidativnoj aktivnosti rizoma kurkume

Parametar	Vrednost	Referenca
Sadržaj ukupnih polifenola	5,56-9,48 mg GAE/g_{sm} (za sorte TCP244,TCP200,TCP67,TCP195 ,TCP2)	Pal i sar. (2020)
	34,9-53,4 mg GAE/g_{sm}	Komonsing i sar. (2022)
	214,8-301,0 mg GAE/g_{se}	Quirós-Fallas i sar. (2022)
	27,12 mg GAE/g	Wu i sar. (2024)
	59,2-157,4 mg GAE/g_{se}	Akter i sar. (2019)
	6,57 mg GAE/g_{sm}	Choi i sar. (2020)
	32,57 mg GAE/g (osušenog uzorka)	Muflihah i sar. (2021)
	32,36 mg GAE/g (osušen na suncu)	Barbosa i Minguillan (2021)
Sadržaj ukupnih flavonoida	4,46-11,05 mg QE/g_{sm}	Pal i sar. (2020)
	620,7-1089,5 mg RE/g_{se}	Akter i sar. (2019)
	0,094 mg QE/g_{sm}	Ghasemzadeh i sar. (2012)
	279,87 mg QE/g (osušenog uzorka)	Muflihah i sar. (2021)
IC_{50}^{DPPH}	78,17-124,81 μg/mL	Pal i sar. (2020)
	57,2 mg/L	Hirun i sar. (2014)
	21,14 mg/mL	Tiveron i sar. (2012)
	600,7 μg/mL	Ghasemzadeh i sar. (2012)
	26,4-291,3 μg/ml (se)	Akter i sar. (2019)
	144,44-258,29 μg/ml (se)	Khatun i sar. (2021)

	15,21-29,12 μg/mL (se)	Quirós-Fallas i sar. (2022)
TE ABTS	1,70 μmol TE/g	Wu i sar. (2024)
IC_{50}^{ABTS}	89,26-109,48 μg/mL	Pal i sar. (2020)
FRAP	169,1 μmol Fe^{2+}/g_{sm}	Tiveron i sar. (2012)

Napomena: se–suvi ekstrakt, sm–suva materija, GAE–galna kisleina ekvivalent, RE–rutin kevivalent, QE–kvercetin ekvivalent, TE–troloks ekvivalent

Sadržaji pojedinačnih polifenolnih jedinjenja pronađeni u literaturi prikazani su u tabeli 19. Galna kiselina je detektovana u koncentracijama od 6,77 mg/kg sveže mase (Pal i sar., 2020), dok su u ekstraktima prijavljene značajno više vrednosti – 781 mg/100 g suvog ekstrakta (Yang i sar., 2020) i 13,67 mg/g_{se} (Tamfu i sar., 2020). Katehin je prema nekim istraživanjima bio prisutan u opsegu od 107,67 mg/kg (Pal i sar., 2020) do 20,3 mg/100g ekstrakta (Yang i sar., 2020), dok s druge strane, autori Ghasemzadeh i saradnici (2012) nisu detektovali ovo jedinjenje. Derivat hidroksicimetne kiseline, kafena kiselina je bila dominantna i to u iznosu od 121 mg/kg, dok su vanilinska, siringinska i cimetna kiselina bile zastupljene u nižim koncentracijama: 83,24 mg/kg, 27,82 mg/kg i 22,01 mg/kg, respektivno (Pal i sar., 2020), s tim da je u drugom istraživanju cimetna kiselina bila zastupljena u značajno nižoj koncentraciji 10,3 mg/100g suvog ekstrakta (Yang i sar., 2020). Zabeležene su i značajne količine *p*-kumarinske kiseline (162,46 mg/kg), sinapinske kiseline (417,36 mg/kg) (Pal i sar., 2020) i ferulne kiseline čiji je sadržaj značajno varirao: (473,94 mg/kg) (Pal i sar., 2020), 187 mg/100 g (Yang i sar., 2020) i 37,41 mg/g_{se} (Tamfu i sar., 2020). Kvercetin se izdvojio kao najdominantniji flavonoid sa čak 2746,21 mg/kg u studiji (Pal i sar., 2020), dok je prema istraživanju Yang i saradnici (2020) kvercetin u ekstraktu prisutan u znatno nižoj količini - 4,78 mg/100g. Prema autorima Muflihah i saradnici (2021) kvercetin, galna i ferulna kiselina nisu detektovani u ekstraktu kurkume. Slično, ni autori Ghasemzadeh i saradnici (2012) u svom istraživanju nisu detektovali kvercetin niti apigenin u uzorku rizoma kurkume. Salicilna kiselina je detektovana u koncentraciji od 11,14 mg/kg (Pal i sar., 2020).

Tabela 19. Pregled literaturnih podataka o sadržaju pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u rizomu kurkume

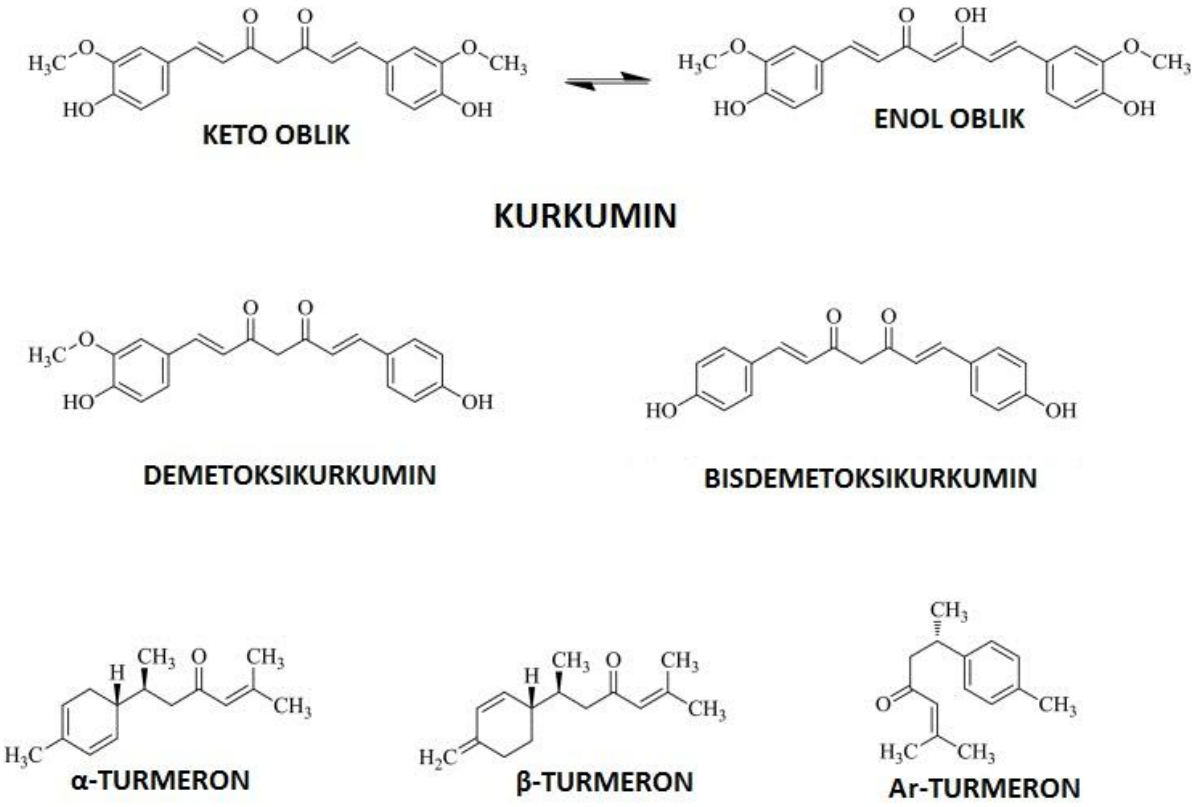
Fenolno jedinjenja	Sadržaj	Referenca
Galna kiselina	6,77 mg/kg	Pal i sar. (2020)
	781 mg/100g_{se}	Yang i sar. (2020)
	13,67 mg/g_{se}	Tamfu i sar. (2020)
	ND	Muflihah i sar. (2021)
Katehin	107,67 mg/kg	Pal i sar. (2020)
	ND	Ghasemzadeh i sar. (2012)
	20,3 mg/100g_{se}	Yang i sar. (2020)
Kafena kiselina	121 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Vanilinska kiselina	83,24 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Siringinska kiselina	27,82 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Cimetna kiselina	22,01 mg/kg	Pal i sar. (2020)
	10,3 mg/100g_{se}	Yang i sar. (2020)
p-kumarinska kiselina	162,46 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Sinapinska kiselina	417,36 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Ferulna kiselina	473,94 mg/kg	Pal i sar. (2020)
	187 mg/100g_{se}	Yang i sar. (2020)
	37,41 mg/g_{se}	Tamfu i sar. (2020)
	ND	Muflihah i sar. (2021)
Kvercetin	2746,21 mg/kg	Pal i sar. (2020)
	4,78 mg/100g_{se}	Yang i sar. (2020)
	ND	Ghasemzadeh i sar. (2012)
	ND	Muflihah i sar. (2021)
Salicilna kiselina	11,14 mg/kg	Pal i sar. (2020)
Apigenin	ND	Ghasemzadeh i sar. (2012)

Napomena: se–suvi ekstrakt, ND–nije detektovano

Kurkuminoidi su bioaktivna polifenolna jedinjenja i poznato je više od stotinu pojedinačnih kurkuminoida koji su izolovani i identifikovani iz roda *Curcuma*, od kojih je oko 50 prisutno u *C. longa* vrsti. Kurkuma sadrži tri glavna kurkuminoida: kurkumin [1,7-bis (4-hidroksi-3-metoksi-fenil)-hepta-1,6-diene-3,5-dione] (77%),

demetoksikurkumin [4-hidroksicinnamoil- (4-hidroksi-3-metoksicinnamoil) metan] (17%) i bisdemetoksikurkumin [bis- (4-hidroksi cinokoil) metan] (3-6%). Strogo govoreći, kurkuminoidi se odnose samo na difenilheptanoide sa skeletnom strukturom koja ima dva aromatična prstena povezana heptanskim lancem (slika 12). Prema ovoj definiciji, postoji 15 kurkuminoida izolovanih i identifikovanih u kurkumi. Definicija kurkuminoida je kasnije proširena i uključuje sve narandžasto-žuto obojene supstance prisutne u kurkumi koji su strukturno slični kurkuminu. Konkretno, u strukturi moraju posedovati dve aril grupe (aromatični prstenovi) povezane alifatskim lancem, koji je obično sastavljen od sedam ili pet ugljenikovih atoma. Takođe, umesto ovih lanaca identifikovane su i ciklične strukture. Ciklizacija heptanskog lanca dovodi do formiranja furanonskog prstena, kao što je slučaj u kurkumalonginu A i B ili pironskog prstena prisutnog u ciklokurkuminu. Oni uglavnom nisu uobičajeni i nalaze se samo u *C. longa*.

Nedavno su iz kurkume izolovane neobične strukture kurkuminoida koje su konjugovane s monoterpenima ili seskviterpenima i nazvane su terpekurkuminoidi ili kurkuminoidi konjugirani s terpenoidima. Aromatične grupe pružaju hidrofobnost, a ugljovodonični lanac im obezbjeđuje fleksibilnost. Kurkuminoidi su lako rastvorljivi u polarnim organskim rastvaračima, kao što su dimetilsulfoksid (DMSO), aceton, metanol i etanol, ali su slabo rastvorljivi u vodi, lipidima i ugljovodonicima, poput cikloheksana i heksana. 1,3-diketonska grupa u kurkuminu i nekim kurkuminoidima pokazuju keto-enol tautomeriju, te stoga postoje u keto i enol tautomernim oblicima (slika 12). Diketo oblik dominira u kristalnom kurkuminu ili u kiselim i neutralnim rastvorima, dok je keto-enolni oblik prisutan isključivo u alkalnim sredinama. Kurkuminoidi daju žuto-narandžastu boju prahu kurkume usled delokalizacije elektrona unutar molekula koji pokazuju snažnu apsorpciju između 420 do 430 nm u organskom rastvaraču (Amalraj i sar., 2016; Hewlings i Kalman, 2017; Zhang i Kitts, 2021).



Slika 12. Hemijske strukture važnih supstanci prisutnih u kurkumi (modifikovano prema Amalraj i sar., 2016)

Pored kurkuminoida, druga aktivna komponenta rizoma kurkume jeste eterično ulje i svi su prisutni u oleorezinu. Eterična ulja se sastoje uglavnom od seskviterpena, od kojih su mnogi specifični za rod *Curcuma*. Aroma ovog začina uglavnom potiče od α- i β-turmerona i aromatičnog turmerona (Amalraj i sar., 2016). Kurkumin je jarko žute boje i može se koristiti kao boja za hranu (E100). Poseduje antioksidativna, antiinflamatorna, antivirusna i antifungalna dejstva. Studije su pokazale da kurkumin nije toksičan za ljude. Kurkumin ispoljava antiinflamatornu aktivnost inhibicijom niza različitih molekula koji igraju važnu ulogu u upalnom procesu. Kurkuma je efikasna u smanjenju upale nakon operacije i pomaže u prevenciji ateroskleroze i tromboze (Akram i sar., 2010).

Zahvaljujući svom sastavu, ekstrakt kurkume pokazuje izraženu antimikrobnu aktivnost protiv širokog spektra patogenih mikoorganizama, uključujući gram-pozitivne i gram-negativne bakterije, kao i gljivice (kvasce). Pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti ekstrakta kurkume dat je u tabeli 20. U dostupnim radovima, antimikrobna aktivnost uzoraka ispitana je merenjem zone

inhibicije (u milimetrima) i određivanjem minimalne inhibitorne koncentracije (MIC). Za *Staphylococcus aureus* prijavljene MIC vrednosti variraju od 250 µg/mL (Sasidharan i sar., 2014) do 1,25 mg/mL za vodeni ekstrakt rizoma kurkume (Tamfu i sar., 2020). Zone inhbicije za ekstrakt koncentracije 100 mg/mL takođe su se razlikovale u zavisnosti od upotrebljenog ekstragensa: za etanolni ekstrakt 13 mm (Wada i sar., 2021), 19 mm (Oklo i sar., 2023), 11,33 mm (Hashim i Bakar, 2024), 20 mm za metanolni ekstrakt (Gupta i sar., 2015) i 6,3 mm (Singh i sar., 2017).

Za *Bacillus subtilis*, MIC vrednost je iznosila 250 µg/mL (Sasidharan i sar., 2014), dok je zona inhibicije iznosila 6,4 mm za etanolni ekstrakt pri koncentraciji od 100 mg/mL (Singh i sar., 2017), što ukazuje na slabiju osetljivost u odnosu na *S. aureus*. U slučaju gram-negativne bakterije *Escherichia coli,* MIC vrednosti su se kretale od 500 µg/mL (Sasidharan i sar., 2014) do 5 mg/mL za vodeni ekstrakt (Tamfu i sar., 2020). Zone ihibicije su takođe varirale i to od potpune rezistencije koja je zabeležena u radu Wada i saradnika (2021), dok su Hashim i Bakar (2024) izvestili o zoni inhibicije od 9 mm. Za *Pseudomonas aeruginosa* prijavljena je MIC vrednost od 500 µg/mL (Sasidharan i sar., 2014) i 0,3125 mg/mL za vodeni ekstrakt (Tamfu i sar., 2020). Od ostalih patogena, *Vibrio cholerae* je bila najosetljivija sa MIC vrednošću od 125 µg/mL (Sasidharan i sar., 2014), dok su za *Salmonella typhi*, *Candida albicans* i *Listeria monocytogenes* MIC vrednosti za vodene ekstrakte iznosile 2,5 mg/mL, 1,25 mg/mL i 1,25 mg/mL, respektivno (Tamfu i sar., 2020).

Tabela 20. Pregled literaturnih podataka o antimikrobnoj aktivnosti ekstrakta kurkume

Mikroorganizam	Parametar	Referenca
Staphylococcus aureus	MIC=250 µg/mL	Sasidharan i sar. (2014)
	MIC=1,25 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)
	Zona inhibicije 13 mm (100 mg/mL)	Wada i sar. (2021)
	Zona inhibicije 20 mm (100 mg/mL) (metanolni ekstrakt)	Gupta i sar. (2015)
	Zona inhibicije 19 mm (100 mg/mL) (etanolni ekstrakt)	Oklo i sar. (2023)

	Zona inhibicije 11,33 mm (100 mg/mL) (etanolni ekstrakt)	Hashim i Bakar (2024)
	Zona inhibicije 6,3 mm (100 mg/mL) (etanolni ekstrakt)	Singh i sar. (2017)
Bacillus subtilis	MIC=250 µg/mL	Sasidharan i sar. (2014)
	Zona inhibicije 6,4 mm (100 mg/mL) (etanolni ekstrakt)	Singh i sar. (2017)
Escherichia coli	MIC=500 µg/mL	Sasidharan i sar. (2014)
	MIC=5 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)
	Zona inhibicije 0 mm (100 mg/mL)	Wada i sar. (2021)
	Zona inhibicije 9 mm (100 mg/mL) (etanolni ekstrakt)	Hashim i Bakar (2024)
Pseudomonas aeruginosa	MIC=500 µg/mL	Sasidharan i sar. (2014)
	MIC=0,3125 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)
Vibrio cholerae	MIC=125 µg/mL	Sasidharan i sar. (2014)
Salmonella typhi	MIC=2,5 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)
Candida albicans	MIC=1,25 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)
Listeria monocytogenes	MIC=1,25 mg/mL (vodeni ekstrakt)	Tamfu i sar. (2020)

Autori Llano i saradnici (2022) pratili su uticaj različitih postupaka sušenja (tradicionalno sušenje na suncu, sušenje u sušnici i sušenje u fluidizovanom sloju) na sadržaj kurkuminoida, boju i antioksidativni kapacitet kurkume. Parametri sušenja prikazani su u tabeli 21. Svi uzorci su sušeni do konstantne mase.

Tabela 21. Pregled postupaka sušenja i odgovarajući parametri sušenja rizoma kurkume (Llano i sar., 2022)

Postupak sušenja	Parametri sušenja
Tradicionalno sušenje na suncu	Prosečna temperatura vazduha 24±2 °C i relativna vlažnost vazduha 76±0,5%
Sušenje u fluidizovanom sloju	Temperatura vazduha 50 °C i brzina strujanja vazduha 1,0 m/s
Sušenje u sušnici	Temperatura vazduha 50 °C

Sadržaj vlage i aktivnost vode u svežim i osušenim rizomima kurkume u zavisnosti od primenjenog postupka sušenja prikazani su u tabeli 22.

Tabela 22. Sadržaj vlage i aktivnost vode u rizomu kurkume u zavisnosti od primenjenog postupka sušenja (Llano i sar., 2022)

Postupak sušenja	Sadržaj vlage (%)	a_w
Sveža kurkuma	83,2±0,5	0,81±0.003
Tradicionalno sušenje na suncu	7,9±0,2	0,08±0.003
Sušenje u sušnici	7,6±0,1	0,07±0,003
Sušenje u fluidizovanom sloju	7,5±0,2	0,050±003

Autori navode da se tradicionalnim solarnim sušenjem kurkume umanjio kvalitet osušenog proizvoda i to sadržaj kurkuminoida za 36,5%, a antioksidativni kapacitet prema ORAC testu za 15%. Sušenje u fluidizovanom sloju dovelo je do smanjenja sadržaja kurkuminoida za 1,9% i antioksidativnog kapaciteta za 0,2%. Sušenjem u sušnici sadržaj kurkuminoida je opao za 2%, a antioksidativni kapacitet za 1,8%. Takođe, rezultati autora Venkateshwari i saradnici (2021) su pokazali da optimalna temperatura sušenja u sušnici za očuvanje kurkumina iznosi 60 °C. Takođe, uočene su značajne razlike u boji za sve metode sušenja (tabela 23).

Tabela 23. Uticaj različitih postupaka sušenja na parametre boje rizoma kurkume (Llano i sar., 2022)

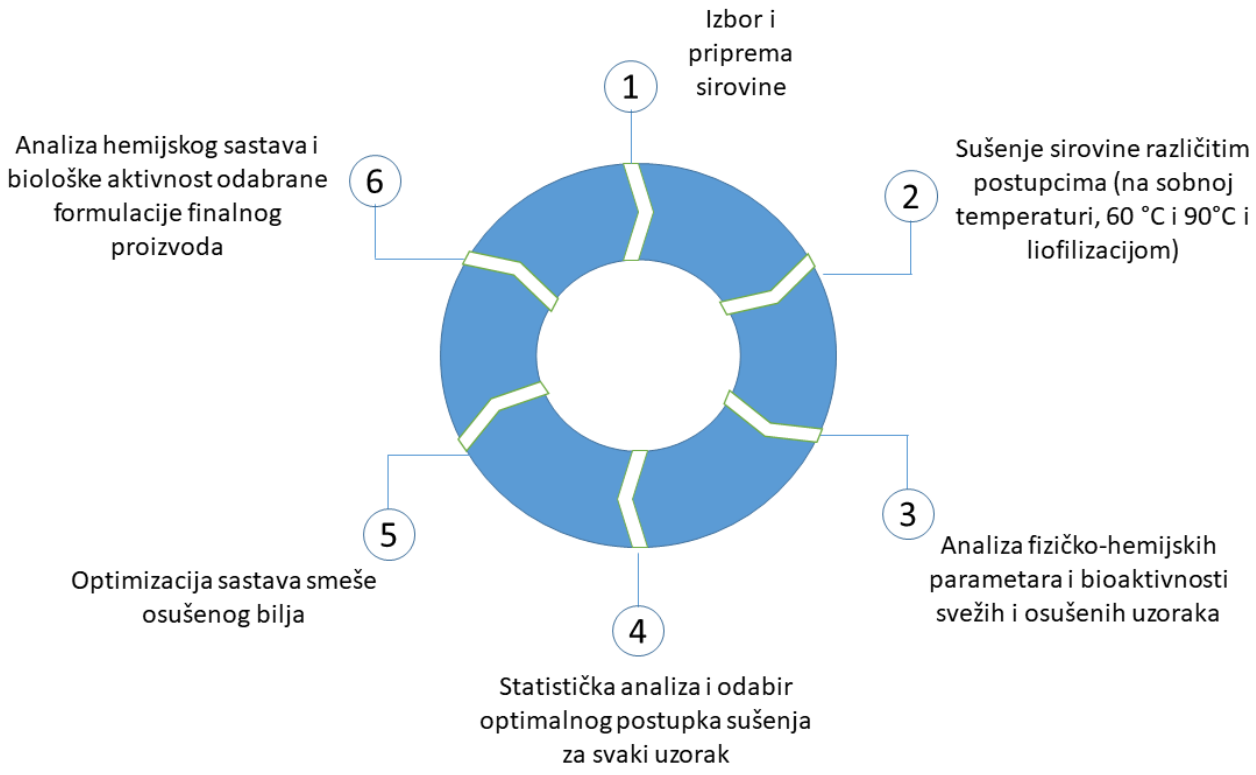
Postupak sušenja	**Parametri boje**		
	L*	**a***	**b***
Tradicionalno sušenje na suncu	90,4±0,4	−10,7±0,2	123,9±0,1
Sušenje u sušnici	91,6±0,1	−11,0±0,1	124,9±0,3
Sušenje u fluidizovanom sloju	92,2±0,3	−10,9±0,2	125,9±0,3

Međutim, sušenje na suncu je u najvećoj meri uticalo na ukupnu promenu boje, parametre boje b* (žuta/plava koordinata) i L* (svetlina), što može biti posledica smanjenja sadržaja kurkuminoida. Od tri primenjene metode, sušenje u fluidizovanom sloju se pokazalo kao najpogodnija tehnika jer je sačuvan sadržaj kurkuminoida, antioksidativni kapacitet i boja kurkume, a aktivnost vode je bila najniža (Llano i sar., 2022).

4. EKSPERIMENTALNI RAD

Sve analize urađene u sklopu ove doktorske disertacije realizovane se u laboratorijama Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Univerziteta u Novom Sadu, Naučnom institutu za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, laboratorijama Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci i Javnoj ustanovi Veterinarski institut Republike Srpske „dr Vaso Butozan“ Banja Luka.

Eksperimentalni rad u okviru ove doktorske disertacije sastojao se iz nekoliko povezanih faza, kao što je prikazano na slici 13. Faze su se sastojale u izboru i pripremi sirovine za sušenje, sušenju uzoraka različitim postupcima sušenja (na sobnoj temperaturi, 60°C i 90 °C i liofilizacijom), analizi fizičko-hemijskih parametara i bioaktivnosti svežih i osušenih uzoraka, odabiru optimalnog postupka sušenja za svaki biljni uzorak pojedinačno pomoću statističkih proračuna, optimizaciji sastava smeše osušenog bilja i na kraju analizi odabrane formulacije finalnog proizvoda.



Slika 13. Faze eksperimentalnog rada

4.1. Biljni materijal

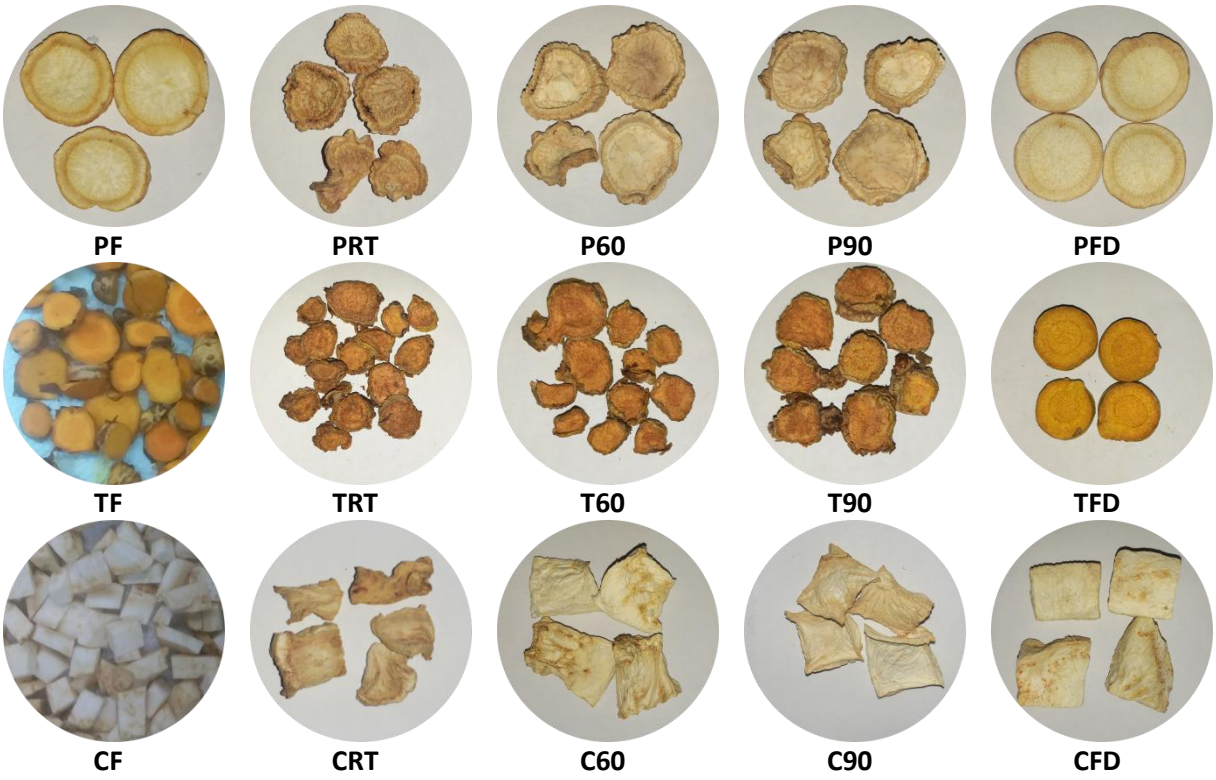
Sveži uzorci celera i peršuna (po 25 kg) kupljeni su u lokalnoj prodavnici, dok su sveži uzorci rizoma kurkume (25 kg) nabavljeni u lokalnoj prodavnici zdrave hrane. Svi uzorci su kupljeni u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina (44°46′ s.g.š., 17°11′ i.g.d.) u leto 2023. godine. Povrće je pažljivo pregledano i odabrano je samo ono bez ikakvih oštećenja. Uzorci su temeljno oprani vodom, posušeni papirom, a zatim isečeni za sušenje. Rizomi kurkume i koren peršuna isečeni su na kriške debljine oko 3 mm, a koren celera je isečen na kocke dimenzija približno 1 cm × 1 cm, debljine 1 cm.

4.2. Postupci sušenja biljnog materijala

Prosečno po 5 kg svakog reprezentativnog biljnog materijala odvojeno je za sušenje u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi (približno 25–28 °C), za konvektivno sušenje na 60 °C i 90 °C i za liofilizaciju. Sveži uzorci korena (rizoma) su zamrznuti na -18 °C do trenutka analize i korišćeni su kao kontrolni uzorci. Konvektivno sušenje uzoraka na 60 °C i 90 °C sprovedeno je u sušnici (Memmert GmBH, Buchenbach, Nemačka), a liofilizacija je sprovedena u liofilizatoru (Christ Alpha 2–4 LSC, Martin Christ, Osterode am Harz, Nemačka). Uzorci su osušeni do sadržaja vlage ispod 13%. Radi jednostavnosti, uzorci su obeleženi sa skraćenicama, gde prvo slovo skraćenice označava biljnu vrstu (*eng.* **C**elery, **P**arsley, **T**urmeric), a drugi deo skraćenice odnosi se na postupak sušenja (**RT** (*eng*. Room Temperature), **FD** (*eng*. Freeze–Dried), **60** (60 °C), **90** (90 °C)) odnosno sveži (kontrolni) uzorak **F** (*eng*. fresh):

- CF – uzorak svežeg korena celera (kontrolni),
- CRT – uzorak korena celera osušen u otvorenoj prostoriji na sobnoj temperaturi,
- C60 – uzorak korena celera osušen na 60 °C,
- C90 – uzorak korena celera osušen na 90 °C,
- CFD – uzorak korena celera osušen liofilizacijom,
- PF – uzorak svežeg korena peršuna (kontrolni),
- PRT – uzorak korena peršuna osušen u otvorenoj prostoriji na sobnoj temperaturi,

- P60 – uzorak korena peršuna osušen na 60 °C,
- P90 – uzorak korena peršuna osušen na 90 °C,
- PFD – uzorak korena peršuna osušen liofilizacijom,
- TF – uzorak svežeg rizoma kurkume (kontrolni),
- TRT – uzorak rizoma kurkume osušen u otvorenoj prostoriji na sobnoj temperaturi,
- T60 – uzorak rizoma kurkume osušen na 60 °C,
- T90 – uzorak rizoma kurkume osušen na 90 °C,
- TFD – uzorak rizoma kurkume osušen liofilizacijom.



Slika 14. Sveži (kontrolni) i osušeni uzorci korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume

Osušeni uzorci upakovani su u bele papirne vrećice, koje su potom stavljene u plastične vrećice, i čuvani na tamnom i suvom mestu, osim liofilizovanih koji su čuvani u plastičnim vrećicama obloženim aluminijumskom folijom na -18 °C, do daljih analiza.

4.3. Fizičko-hemijska analiza pripremljenog suvog i svežeg biljnog materijala

4.3.1. Određivanje sadržaja vlage

Oko 5 grama (sa tačnošću 0,1 mg) samlevenog uzorka (Knifetec 1095 Sample Mill, Foss A/S, Hillerød, Danska) izvagano je u prethodno osušenoj i odvaganoj aluminijumskoj posudi sa poklopcem (za sveže uzorke korišćene su posude sa 20 grama kvarcnog peska). Posude sa koso postavljenim poklopcem i uzorkom su postavljene u sušionik (Instrumentaria Zagreb ST-05, Zagreb, Hrvatska) na 105 °C. Sušenje je trajalo do postizanja konstantne mase. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja. Sadržaj vlage u uzorcima je izražen u g/100g, odnosno u procentima (%) (Nurkhoeriyati i sar., 2021).

4.3.2. Određivanje aktivnosti vode

Aktivnost vode (a_w) u uzorcima određena je upotrebom uređaja sa specijalnom sondom za mjerenje a_w vrednosti (NOVASINA labMASTER- aw, Švajcarska). Postupak određivanja se zasniva na punjenju merne posude do 2/3 njene visine sa homogenizovanim uzorkom i postavljanju posude u merni deo uređaja. Proces merenja a_w vrednosti se odvijao na temperaturi od 25 °C do uspostavljanja ravnotežnog stanja.

4.3.3. Određivanje sadržaja pepela

Sadržaj ukupnog pepela u ispitivanim uzorcima određen je metodom direktnog spaljivanja (AOAC 923.03, (AOAC, 1990, 2000)). Princip određivanja sadržaja pepela se zasniva na sagorevanju organskih materija u uzorku i žarenju mineralnog ostatka u mufolnoj peći (VIMS Elektrik LPŽ 75, Tršić, Srbija) na 550 ºC. Oko 2 grama (sa tačnošću 0,1 mg) samlevenog uzorka odvagano je u prethodno ižaren (do konstantne mase), ohlađen u eksikatoru i izvagan porculanski lončič. Uzorak je prvo spaljen do ugljenisanja, a potom je žaren do konstantne mase. Pepeo predstavlja neorganski ostatak posle žarenja uzorka. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja. Sadržaj pepela u ispitivanim uzorcima je izražen u g/100g suve materije biljnog materijala.

4.3.4. Određivanje sadržaja sirovih proteina metodom po Kjeldahl-u

Sadržaj sirovih proteina u uzorcima je analiziran na osnovu sadržaja ukupnog azota, određenog metodom po *Kjeldahl*-u i množenjem sa faktorom 6,25 (AOAC 920.87, (AOAC, 1990, 2000). Princip određivanja se sastoji u digestiji uzorka (oko 1,2 grama sa tačnošću ±0,1 mg samlevenog uzorka) sa koncentrovanom sumpornom kiselinom (25 mL), uz dodatak bakar (II)-sulfata (0,5 g) i natrijum-sulfata (10 g), kao katalizatora, kako bi se ukupni azot preveo u amonijum-jone. Digestija je izvedena u uređaju DK6+SmS Scrubber (VELP Scientifica, Milano, Italija). Zatim je usledela alkalizacija sa 33% rastvorom natrijum-hidroksida i destilacija vodenom parom (UDK 129 Kjeldahl Distillation Unit, VELP Scientifica, Milano, Italija) gde se oslobođeni amonijak uvodio u višak rastvora borne kiseline (50 mL, koncentracije 40 g/L). Amonijak vezan za bornu kiselinu određen je titracijom sa rastvorom hlorovodonične kiseline (0,1 M) uz Tashiro indikator. Istovremeno je rađena i slepa proba. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja. Sadržaj proteina u uzorku je izražen u g/100g suve materije biljnog materijala.

4.3.5. Određivanje sadržaja sirove masti

Sadržaj masti u uzorcima je određen metodom po *Soxhlet*-u, ekstrakcijom u petrol-etru u trajanju od 6 sati (AOAC 945.16, (AOAC, 1990, 2000)). U porculansku posudu je odvagano 10 grama osušenih samlevenih uzoraka odnosno 30 grama usitnjenih svežih uzoraka (uz dodatak bezvodnog natrijum-sulfata i kvarcnog pijeska), sa tačnošću ±0,1 mg i kvantitativno prebačeno u čahuru (hilznu). Porculanska posuda i stakleni štapić su prebrisani sa vatom natopljenom petrol-etrom, a vata je potom stavljena preko uzorka u čahuri. Nakon stavljanja čahure u ekstraktor, ekstraktor je spojen sa prethodno osušenom i odvaganom tikvicom sa staklenim kuglicama. Ekstraktor je potom povezan sa povratnim hladilom. Nakon isteka 6 sati, rastvarač je predestilisan i tikvica je postavljena u sušionik na 105 °C do konstantne mase. Nakon sušenja, tikvica je ostavljena u eksikatoru pola sata, nakon čega je izmerena masa. Na osnovu razlike u masi, izračunat je sadržaj sirove masti izražen u g/100g suve materije biljnog materijala. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.3.6. Sastav masnih kiselina

Nakon ekstrakcije uzoraka u petrol-etru po *Soxhlet* metodi, 50 mg masti je rastvoreno u 5 mL heksana mešanjem na vorteksu (uniTEXER, LLG Labware, Ilinois, SAD). Zatim je dodano 50 µL 2 M kalijum-hidroksida u metanolu i ponovo promešano na vorteksu. Zatvorena epruveta je centrifugirana 10 minuta na 3000 obrt/min (MSE Centaur 2, Fisons, UK). Bistri rastvor (supernatant) je prenet u bočicu (vialu) od 2 mL. Za određivanje masnih kiselina korišćen je instrument Clarus 680 (Perkin Elmer, SAD) sa FID detektorom, kolona Elite-wax L 60 m, ID 0,32, DF 0,5, uz standard: Sigma Aldrich Supelco 37 components FAME MIX. Temperatura injektora i detektora iznosila je 250 °C, a volumen injektiranog uzorka 1 µL. Temperaturni režim je bio sledeći: 60 °C 2 minute, 10 °C/min do 200 °C, 5 °C/min do 240 °C i 30 min na 240 °C. Ukupno vreme trajanja analize iznosilo je 54 minute, uz protok 1,5 mL/min i korišćene gasove: azot (nosač), vodonik i vazduh (za FID). Sastav masnih kiselina prikazan je kao procentualni udeo pojedinačnih masnih kiselina u ukupnim masnim kiselinama (g/100g ukupnih masnih kiselina) (David i sar., 2005). Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.3.7. Instrumentalno određivanje boje

Parametri boje (vrednosti L*, a* i b*) svežih i osušenih uzoraka određeni su korišćenjem kolorimetra Konica Minolta (model CM 2600d, Osaka, Japan). CIE L*a*b* (ili CIELAB) je kolorimetrijski trodimenzionalni prostor baziran na percepciji boje standardnog posmatrača. Za merenja je korišćeno D–65 osvetljenje, standardni ugao posmatranja od 10° i prečnik kontaktne površine od 3 mm. Pre merenja obavljena je kalibracija standardom bele boje. Rezultati su izraženi kao srednja vrednost najmanje 8 ponavljanja. Rezultati su izraženi prema CIELab sistemu boja (CIE, 1976) kao svetloća boje L* (gde 0 označava crno, a 100 belo), udeo crvene/zelene boje (a* > 0 označava crvenu i a* < 0 označava zelenu boju), udeo žute/plave boje (b* > 0 označava žutu i b* < 0 označava plavu boju).

4.3.8. Određivanje mineralnog sastava

Vlažno spaljivanje uzoraka obavljeno je u uređaju za mikrotalasno spaljivanje (Start D, Milestone, Sorisole (BG), Italija). Odvagano je 0,7-0,9 grama (sa tačnošću 0,1 mg) osušenih i samlevenih uzoraka odnosno oko 1,5 grama (sa tačnošću 0,1 mg) svežih usitnjenih uzoraka. Spaljivanje je obavljeno korišćenjem smeše 67% azotne kiseline (6–7 mL) i 30% vodonik-peroksida (2 mL). Istovremeno je pripremljena i slepa proba koja se sastojala od smeše azotne kiseline i vodonik-peroksida. Nakon spaljivanja, rastvori su kvantitativno preneseni u odmerne tikvice od 25 mL i dopunjeni do oznake dejonizovanom vodom. Za određivanje mineralnog sastava korišćen je instrument ICP-OES (induktivno spregnuta plazma–optička emisiona spektrometrija) Optima 8000, proizvođača Perkin Elmer (Waltham, Masačusets, SAD). Merenja apsorbanci određenih elemenata rađena su pri uslovima prikazanim u Prilogu 1.

Za izradu kalibracionih krivih korišćeni su sledeći standardi: Perkin Elmer Pure Plus - Instrument Calibration Standard 2 (multielementarni) LOT CL3-191MKBY1 i Perkin Elmer Pure - Wave Cal Solution (multielementarni) LOT 43-71AS (P). Limiti detekcija i opseg koncentracija standardnih rastvora elemenata za kalibraciju prikazani su u Prilogu 2. Standardni rastvori elemenata za izradu kalibracionih krivih pripremljeni su u odmernim tikvicama od 10 mL i dopunjavani sa 5% HNO_3 do oznake. Slepa proba standarda bila je 5% HNO_3. Rezultati su izraženi u mg/100g suve materije uzorka i predstavljeni kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.4. Određivanje fitohemijskog profila i bioloških aktivnosti uzoraka pre i nakon sušenja

4.4.1. Ekstrakcija uzoraka pre i nakon sušenja

20 grama biljnog materijala prethodno samlevenog u laboratorijskom mlinu (Knifetec 1095 Sample Mill, Foss A/S, Hillerød, Danska), preliveno je sa 200 mL 80% etanola u erlenmajer tikvici sa šlifovanim čepom, a zatim je sprovedena ekstrakcija potpomognuta ultrazvučnim talasima (WUC-A03H, Witeg Labortechnik, Wertheim, Nemačka) u trajanju od 90 minuta (3 puta po 30 minuta sa kratkim pauzama između ekstrakcija) (Binello i sar., 2020; Singh i sar., 2022; Slaček i sar., 2023; Torquato i sar., 2025). Prilikom ekstrakcije praćena je temperatura vode u ultrazvučnoj kadi tako da ona nije prelazila 40 °C. Dobijeni tečni ekstrakt, zaštićen od svetlosti, filtriran je kroz filter-papir Whatman br. 4 (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen,

Nemačka), a zatim uparen pod sniženim pritiskom na maksimalnoj temperaturi od 40 °C. Radi lakšeg isparavanja vode, veći dio zgusnutog ekstrakta je izliven u Petrijeve posude i dodatno sušenje je nastavljeno u vakuum–eksikatoru, zaštićeno od svetlosti, do konstantne mase. Nakon sušenja, zabeležena je masa suvih ekstrakata. Ekstrakti su potom upakovani, na adekvatan način označeni i zaštićeni od uticaja svetlosti te čuvani na -18°C do momenta analize.

4.4.2. Određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja

Za određivanje sadržaja polifenolnih jedinjenja, za svaki uzorak je pripremljeno po 3 rastvora ekstrakta poznate koncentracije. Od dobijenih ekstrakata za uzorak CF pripremljeni su rastvori koncentracija u opsegu od oko 21,89-22,44 mg/mL (izraženo na suvu materiju uzorka), za uzorak CRT 52,99-55,98 mg/mL (izraženo na suvu materiju uzorka), za uzorak C60 40,33-43,04 mg/mL (izraženo na suvu materiju uzorka) i CFD 48,41-52,07 mg/mL (izraženo na suvu materiju biljnog materijala), dok je za uzorak C90 korišćena koncentracija od 73,81-76,40 mg/mL (izraženo na suvu materiju biljnog materijala). Za uzorke korena peršuna korišćene su sledeće koncentracije (izraženo na suvu materiju biljnog materijala) u opsegu od oko: za uzorak PF 41,05-43,30 mg/mL; za uzorak PFD 66,00-66,99 mg/mL, za uzorak PRT 49,36-50,08 mg/mL; za uzorak P60 30,29-30,36 mg/mL i za uzorak P90 26,61-27,44 mg/mL. Za uzorke rizoma kurkume korišćene su sledeće koncentracije (izraženo na suvu materiju biljnog materijala) u opsegu od oko: za uzorak TF 43,19-43,28 mg/mL; za uzorak TRT 46,81-46,89 mg/mL; za uzorak T60 50,93-51,10 mg/mL; za uzorak T90 50,69-51,27 mg/mL i za uzorak TFD 47,42-48,40 mg/mL, pri čemu su tokom analize korišćena odgovarajuća razblaženja štokova. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.4.2.1. Ukupni polifenoli

Za određivanje sadržaja ukupnih polifenola korišćen je Folin-Ciocalteu test. Folin-Ciocalteu (F–C) reagens je žuto obojeni rastvor sastavljen od kompleksnih jedinjenja, fosfomolibdenove kiseline ($H_3PMo_{12}O_{40}$) i fosfovolframove kiseline ($H_3PW_{12}O_{40}$), međutim precizna hemijska struktura ovog reagensa nije poznata. Iako njegova struktura i mehanizam reakcija sa polifenolnim jedinjenjima nisu u potpunosti utvrđeni, metoda se zasniva na redukciju F–C reagensa polifenolnim jedinjenjima u

alkalnoj sredini pri čemu se formira rastvorljiv, jarko plavi kompleks, koji ima maksimalnu apsorpciju na 765 nm. Apsorpcija je direktno proporcionalna sadržaju polifenolnih jedinjenja, koji se najčešće izražava kao ekvivalent galne kiseline (Molole i sar., 2022; Pérez i sar., 2023).

Sadržaj ukupnih polifenola određen je prema modifikovanoj metodi Wolfe i saradnika (2003). Ukratko, pomešano je 1,5 mL 0,2 M Folin-Ciocalteu reagensa, 1,5 mL 7,5% natrijum-hidrogenkarbonata ($NaHCO_3$) i 0,2 mL rastvora uzorka tačne koncentracije. Nakon mešanja na vorteksu, uzorci su ostavljeni pola sata na tamnom mestu nakon čega je izmerena apsorbanca na 765 nm (JenWay 6305, Velika Britanija) uz slepu probu. Na osnovu izmerenih apsorbanci, sa kalibracione krive standardnog rastvora galne kiseline (Prilog 3) očitana je koncentracija ukupnih polifenola (µg/mL), a zatim je sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima izražen kao miligrami ekvivalentni galnoj kiselini po gramu suve materije biljnog materijala (mg GAE/g_{sm}).

4.4.2.2. Ukupni flavonoidi

Jedna od najčešće korišćenih metoda za određivanje sadržaja ukupnih flavonoida zasnovana je na formiranju aluminijumskog kompleksa (Pękal i Pyrzynska, 2014). Naime, nakon dodavanja rastvora aluminijum-hlorida ($AlCl_3$), formira se žuto obojeni Al(III)-flavonoid kompleks, čija apsorbanca se potom meri na specifičnoj talasnoj dužini u opsegu 410–440 nm (Shraim i sar., 2021).

Sadržaj ukupnih flavonoida određen je na način kako su prethodno opisali Zombe i saradnici (2022). Ukratko, alikvot od 2 mL rastvora uzorka tačne koncentracije pomešan je sa 2 mL 2% rastvora aluminijum-hlorida u 96% etanolu. Nakon sat vremena na tamnom mestu, očitana je apsorbanca na 420 nm uz slepu probu. Na osnovu izmerenih apsorbanci, sa kalibracione krive standardnog rastvora kvercetina (Prilog 4) očitana je koncentracija ukupnih flavonoida (µg/mL), a zatim je sadržaj ukupnih flavonoida u uzorcima izražen kao miligrami ekvivalenti kvercetinu po gramu suve materije biljnog materijala (mg QE/g_{sm}).

4.4.2.3. Ukupni flavonoli

Sadržaj ukupnih flavonola određen je po metodi kako su opisali Formagio i saradnici (2014). 1 mL rastvora uzorka tačne koncentracije je pomešan sa 1 mL 2% rastvora aluminijum-hlorida u 96% etanolu i 1,5 mL 5% rastvora natrijum-acetata. Nakon 2,5 sata inkubacije na sobnoj temperaturi na tamnom mestu, apsorbanca je izmerena na 440 nm u odnosu na slepu probu. Na osnovu izmerenih apsorbanci, sa kalibracione krive standardnog rastvora kvercetina (Prilog 5) očitana je koncentracija ukupnih flavonola (μg/mL), a zatim je sadržaj ukupnih flavonola u uzorcima izražen kao miligrami ekvivalenti kvercetinu po gramu suve materije biljnog materijala (mg QE/g_{sm}).

4.4.2.4. Ukupni flavan-3-oli

Kondenzovani tanini ili proantocijanidini su polifenolna jedinjenja koji pripadaju grupi flavonoida. Hemijski su definisani kao oligomeri ili polimeri flavonoida, čiji je monomer flavan-3-ol (katehin). Metod se zasniva na reakciji aromatičnog aldehida (vanilin) sa meta-supstituisanim prstenom flavanola stvarajući crveno obojen adukt koji se može spektrofotometrijski detektovati (Akpalo i sar., 2020; Ciulu i sar., 2018), kao što je prikazano u Prilogu 6.

Ukupni flavan-3-oli su određeni koristeći vanilin-H_2SO_4 test (Toro-Uribe i sar., 2020). Ukratko, 1 mL rastvora uzorka tačne koncentracije je pomešan sa 2,5 mL 10% (*w*/*v*) H_2SO_4 u metanolu i 2,5 mL 1% rastvora vanilina u metanolu. Nakon 20 minuta na sobnoj temperaturi na tamnom mestu, apsorbanca je izmerena na 500 nm u odnosu na slepu probu. Na osnovu izmerenih apsorbanci, sa kalibracione krive standardnog rastvora katehina (Prilog 7) očitana je koncentracija ukupnih flavan-3-ola (mg/mL), a zatim je sadržaj ukupnih flavan-3-ola u uzorcima izražen kao miligrami ekvivalenti katehinu po gramu suve materije biljnog materijala (mg CE/g_{sm}).

4.4.3. HPLC analiza pojedinačnih polifenolnih jedinjenja

Kvantifikacija pojedinačnih polifenolnih jedinjenja obavljena je tečnom hromatografijom visoke rezolucije (tečna hromatografija visokih performansi, HPLC) na Shimadzu Prominence uređaju (Shimadzu, Kjoto, Japan), koji sadrži binarnu pumpu LC-20AT, termostat CTO-20A i automatski dozator SIL-20A povezan sa DAD detektorom. Razdvajanje je sprovedeno na Luna C-18 RP koloni, 5 mm i 250 × 4,6

mm (Phenomenex, Torrance, CA, SAD), koja je bila zaštićena pretkolonom C18,4 × 30 mm (Phenomenex, Torrance, CA, SAD). Kao mobilna faza korišćen je sistem rastvarača: A- acetonitril i B- 1% mravlja kiselina – pri brzini protoka od 1 mL/min sa sledećim linearnim gradijentom: 0–10 minuta od 10 do 25% A; 10–20 minuta linearno povećanje do 60% A; i od 20 do 30 minuta linearno povećanje do 70% A. Kolona je uravnotežena na početni uslov od 10% A tokom 10 minuta, sa dodatnih 5 minuta za stabilizaciju. Standardi polifenolnih jedinjenja i uzorci su bili rastvoreni u 50% metanolu, a svi uzorci i rastvarači su filtrirani pre analize kroz membranske filtere veličine pora od 0,45 mm (Millipore, Bedford, Masačusets, SAD). Korišćeni su standardi katehina, kvercetina, epikatehina, apigenina, protokatehinske, galne, *p*-hidroksibenzoeve, vanilinske, kumarinske, hlorogene, ferulne, cimetne i kafene kiseline. Na osnovu dobijenih hromatograma i kalibracionih dijagrama standardnih rastvora polifenolnih jedinjenja izračunate su koncentracije identifikovanih fenolnih kiselina i flavonoida. Rezultati su izraženi u mikrogramima na 100 g suve materije biljnog materijala (μg/100g_{sm}), a predstavljeni su kao srednja vednost tri ponavljanja.

4.4.4. Antioksidativna aktivnost uzoraka

4.4.4.1. DPPH$^{\bullet}$ test

2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH$^{\bullet}$) je u rastvoru stabilan radikal, ljubičaste boje, sa maksimum apsorpcije na 515 nm u metanolu. Ovaj test se zasniva na principu da se DPPH radikal, nakon prihvatanja atoma vodonika (H) od drugog molekula tj. antioksidanta, redukuje u DPPH2, pri čemu se ljubičasta boja menja u žutu sa istovremenim smanjenjem apsorpcije na 515 nm. Promena boje se prati spektrofotometrijski i koristi se za određivanje antioksidativnih svojstava ispitivanih uzoraka (Mishra i sar., 2012).

Za određivanje antioksidativne aktivnost uzoraka korišćena je metoda koja se zasniva na sposobnosti uzoraka da uklanjaju slobodne 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH$^{\bullet}$) radikale, prema metodi koju su opisali Liyana-Pathirana i Shahidi (2005). Zapremina od 2 mL rastvora DPPH radikala, koncentracije 0,135 mM u metanolu, pomešana je sa 2 mL rastvora uzorka poznate koncentracije. Kontrolni uzorak pripremljen je mešanjem 2 mL rastvora DPPH radikala i 2 mL 80% etanola. Nakon mešanja na vorteksu, reakciona smeša je ostavljena u mraku na sobnoj temperaturi

30 minuta. Apsorbanca je merena na 515 nm pomoću UV-VIS spektrofotometra (JenWay 6305, Velika Britanija). Antioksidativna aktivnost uzoraka izražena je kao IC_{50} (mg (ili µg) suve materije biljnog materija/mL).

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak TF bio je približno u iznosu 86,39-432,81 µg/mL; za uzorak TRT 93,62-293,04 µg/mL; za uzorak T60 101,86-319,16 µg/mL; za uzorak T90 101,38-320,43 µg/mL i uzorak TFD 94,84-302,49 µg/mL.

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak CF iznosio je približno 4,79-49,79 mg/mL; za uzorak CRT 2,65-23,53 mg/mL; za uzorak C60 4,13-28,94 mg/mL; za uzorak C90 3,82-26,73 mg/mL i uzorak CFD 4,84-52,07 mg/mL.

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak PF iznosio je približno 8,22-29,88 mg/mL; za uzorak PRT 2,47-21,05 mg/mL; za uzorak P60 3,03-30,29 mg/mL; za uzorak P90 2,66-27,44 mg/mL i za uzorak PFD 6,60-28,80 mg/mL.

Procenat inhibicije DPPH radikala izračunat je korišćenjem jednačine (3):

$$\mathrm{I}\,(\%) = \frac{\mathrm{A_{kontrol} - A_{uzorka}}}{\mathrm{A_{kontrol}}} \times 100 \qquad (3)$$

gde je: $A_{kontrol}$ apsorbanca kontrole na 515 nm, A_{uzorka} apsorbanca uzorka na 515 nm. Na osnovu izračunatih vrednosti procenta inhibicije (zavisna promenljiva, vrednosti nanesene na y-osu) za pripadajuće različite koncentracije uzorka (nezavisna promenljiva, vrednosti nanesene na x-osu), konstruisan je grafik i dobijena je linearna jednačina pravca pomoću koje je izračunata vrednost za $IC_{50\%,}$ što označava koncentraciju uzorka potrebnu da se inhibira 50% prisutnih slobodnih radikala. Za konstruisanje grafika korišćeno je 5 različitih koncentracija. Vrednosti za $IC_{50\%}$ prikazane su kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.4.4.2. $ABTS^{\bullet+}$ test

$ABTS^{\bullet+}$ test je spektrofotometrijska metoda prema kojoj oksidovani ABTS radikalni katjon ($ABTS^{\bullet+}$) reaguje sa antioksidantima, pri čemu se redukuje ABTS radikal i gubi njegova plavo-zelena boja. $ABTS^{\bullet+}$ se prethodno generiše dan ranije, mešanjem rastvora kalijum-persulfata i ABTS-a (Ilyasov i sar., 2020):

$$ABTS + S_2O_8^{2-} \rightarrow ABTS^{\cdot+} + SO_4^{\cdot-} + SO_4^{2-}$$
$$ABTS + SO_4^{\cdot-} \rightarrow ABTS^{\cdot+} + SO_4^{2-}$$

Antioksidativna aktivnost uzoraka određena je metodom koja se zasniva na dekolorizaciji ABTS (2,2′-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)) radikal katjona kako je prethodno opisano od strane Re i saradnika (1999). Osnovni rastvor (štok) ABTS-a je pripremljen u epruveti mešanjem jednakih zapremina 7 mM ABTS-a i 2,45 mM kalijum-persulfata. Epruveta obložena folijom je potom ostavljena u frižideru na 4 °C tokom 16 sati. Radni rastvor (1 mL) je dobijen razblaživanjem osnovnog rastvora radikalnih katjona ABTS-a sa metanolom (oko 60 mL) da bi se dobila apsorbanca u iznosu od 0,7±0,02 na 734 nm uz metanol kao slepu probu. Dva mililitra radnog rastvora su pomešana sa 2 mL rastvora uzorka tačne koncentracije. Kontrolni uzorak pripremljen je mešanjem 2 mL rastvora ABTS i 2 mL 80% etanola. Nakon mešanja, reakciona smeša je ostavljena u mraku na sobnoj temperaturi tačno 7 minuta. Apsorbanca je izmerena na 734 nm UV-VIS spektrofotometrom (JenWay 6305, Velika Britanija).

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak TF bio je približno u iznosu 10,80-36,07 μg/mL; za uzorak TRT 10,83-28,92 μg/mL; za uzorak T60 10,90-29,08 μg/mL; za uzorak T90 12,67-34,18 μg/mL i za uzorak TFD 11,85-32,27 μg/mL.

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak CF iznosio je od 0,44-2,24 mg/mL, uzorak CRT 0,66-2,80 mg/mL, uzorak C60 0,51-2,07 mg/mL, uzorak C90 0,46-1,91 mg/mL i uzorak CFD 0,43-4,43 mg/mL.

Opseg ispitivanih koncentracija za uzorak PF iznosio je od 0,41-2,16 mg/mL, uzorak PRT 0,49-2,47 mg/mL, uzorak P60 0,38-2,42 mg/mL, uzorak P90 0,33-2,19 mg/mL i uzorak PFD 0,66-2,34 mg/mL.

Antioksidativna aktivnost uzoraka izražena je kao IC_{50} vrednost (mg/mL ili μg/mL), izračunata na isti način kao za DPPH test. Za konstruisanje grafika korišćeno je 5 različitih koncentracija. Vrednosti za $IC_{50\%}$ prikazane su kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.4.4.3. FRAP test

FRAP (*eng.* Ferric Reducing Antioxidant Power) metoda se zasniva na sposobnosti antioksidanata da redukuju gvožđe (III)-2,4,6-tripiridil-S-triazin $[Fe(III)\text{-}TPTZ]_2]^{3+}$ kompleks u intenzivno plavo obojeni kompleks $[Fe(II)\text{-}(TPTZ)_2]^{2+}$ kompleks u kiseloj sredini (Benzie i Strain, 1999). Za potrebe ove metode pripremljeni su sledeći reagensi: acetatni pufer (pH 3,6), 20 mM $FeCl_3 \times 6H_2O$ i 10 mM rastvor 2,4,6-tripiridil-S-triazina (TPTZ) u 40 mM HCl. FRAP radni rastvor je pripremljen neposredno pre analize mešanjem acetatnog pufera, rastvora 10 mM TPTZ i 20 mM $FeCl_3 \times 6H_2O$ u zapreminskom odnosu 10:1:1, respektivno. Radni rastvor je termostatiran na 37 °C.

Za određivanje antioksidativne aktivnosti uzoraka prema FRAP testu, za svaki uzorak je pripremljeno po 3 rastvora ekstrakta sa koncentracijama (izraženim na suvu materiju biljnog materijala) u opsegu od: za uzorak CF 47,89-49,8 mg/mL; za uzorak CRT 52,99-55,98 mg/mL; za uzorak C60 40,33-41,34 mg/mL; za uzorak C90 73,82-76,40 mg/mL; za uzorak CFD 48,41-52,07 mg/mL. Za uzorak PF 41,05-43,30 mg/mL; za uzorak PRT 49,36-50,08 mg/mL; za uzorak P60 30,29-30,36 mg/mL; za uzorak P90 26,61-27,41 mg/mL; za uzorak PFD 66,00-66,99 mg/mL. Za uzorak TF 43,19-43,28 mg/mL; za uzorak TRT 46,81-46,89 mg/mL; za uzorak T60 50,93-51,10 mg/mL; za uzorak T90 50,69-51,27 mg/mL i za uzorak TFD 47,42-48,40 mg/mL, uz korišćenje odgovarajućih razblaženja.

Rastvor uzorka poznate koncentracije (0,4 mL) je pomešan sa radnim rastvorom FRAP-a (3,6 mL) i inkubiran 10 minuta u vodenom kupatilu na 37 °C, nakon čega je apsorbanca izmerena na 593 nm u odnosu na slepu probu (destilovana voda) (JenWay 6305, Velika Britanija). Rezultati su izraženi kao μmol Fe^{2+} po gramu suve materije biljnog materijala (μmol Fe^{2+}/g_{sm}). Svi rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja. Kalibraciona kriva korišćena za određivanje antioksidativnog kapaciteta FRAP metodom data je u Prilogu 8.

4.4.5. Antihiperglikemijska (antidijabetička) aktivnost

Metoda se zasniva na spektrofotometrijskom merenju apsorbance na 405 nm, gde se stvara žuta boja koja potiče od 4-nitrofenola oslobođenog delovanjem α-glukozidaze na supstrat 4-nitrofenil-α-D-glukopiranozid (Tumbas Šaponjac i sar., 2014). 5 g samlevenog uzorka je ekstrahovano sa 50 mL kalijum-fosfatnog pufera (pH = 7,00) u ultrazvučnoj kadi (WUC-A03H, Witeg Labortechnik, Minhen, Nemačka) tokom 30 minuta. Tečni ekstrakt je potom profiltriran u odmernu tikvicu od 50 mL kroz filter-papir Whatman br. 4 (Sent Luis, Misuri, SAD) i dopunjen do oznake sa puferom. Za ovu analizu korišćeni su sledeći reagensi: kalijum-fosfatni pufer (pH=7,00), supstrat 4-nitrofenil-α-D-glukopiranozid (supstrat je pripremljen tako što je odvagano 15,05 mg supstrata u 25 mL fosfatnog pufera pH=7,00), rastvor enzima α-glukozidaze (štok enzima je pripremljen tako što je odvagano 1,35 mg enzima i potom u ependorfici rastvoren u 1 mL pufera pH=7,00). Od štoka je zatim uzeto 40 µL i pomešano sa 9,960 mL pufera pH=7,00, te je ovaj rastvor, označen kao radni rastvor, korišćen tokom analize. Kontrola i slepa proba kontrole, kao i uzorak i slepa proba uzorka pripremljeni su kako je navedeno u tabeli 24.

Tabela 24. Sastav kontrole, slepe probe kontrole, uzorka i slepe probe uzorka kod određivanja antihiperglikemijske aktivnosti

Slepa proba kontrole	**Kontrola**
1000 µL supstrata	1000 µL supstrata
1200 µL pufera	200 µL pufera
-	1000 µL enzima
Slepa proba uzorka	**Uzorak**
1000 µL supstrata	1000 µL supstrata
200 µL uzorka tačne koncentracije	200 µL uzorka tačne koncentracije
1000 µL pufera	1000 µL enzima

Nakon inkubacije u termostatu na 37 °C u trajanju od 10 minuta, izmerene su apsorbance na 405 nm. Postotak inhibicije računat je na osnovu sledećeg izraza (4):

$$\mathrm{I}\,(\%) = \frac{\Delta \mathrm{A}_{\mathrm{kontrole}} - \Delta \mathrm{A}_{\mathrm{uzorka}}}{\Delta \mathrm{A}_{\mathrm{kontrole}}} \times 100\% \qquad (4)$$

4.4.6. Antibakterijska aktivnost uzoraka

Antibakterijska dejstva ekstrakata uzoraka kurkume, celera i peršuna testirana su disk-diufzionom metodom. Ekstrakti uzoraka celera i peršuna rastvoreni su u sterilnoj vodi, a ekstrakti kurkume u 40% etanolu do koncentracije u iznosu od 100 mg/mL. Testirani mikroorganizmi bili su gram-negativna bakterija *Escherichia coli* (ATCC 25922) i gram-pozitivna bakterija *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923). Bakterijski sojevi su osveženi na Miler-Hinton podlozi (HiMedia, Mumbaj, Indija) tokom 24 sata na 37 °C. Ćelije su suspendovane u sterilnom 0,9% rastvoru natrijum-hlorida (NaCl). Suspenzija za inokulaciju je podešena na koncentraciju od približno 1×10^6 CFU/mL, koja je procenjena pomoću Densichek-a (Biomerieux, Francuska). Suspenzije (1 mL) za inokulaciju su homogenizovane sa rastopljenim i temperiranim (45 °C) Miler-Hinton agarom (9 mL) i sipane u Petrijeve posude. Sterilni diskovi od 6 mm (Himedia, Mumbaj, Indija) su postavljeni na inokulisane agar podloge i impregnirani sa 15 µL rastvora ekstrakta. Diskovi sa antibioticima (30 µg cefotaksima/10 µg klavulanske kiseline po disku, Bioanalyse®, Ankara, Turska) su korišćeni kao pozitivna kontrola, a destilovana voda i 40% etanol kao negativna kontrola (15 µL). Test ploče su ostavljene tokom 1 sata na sobnoj temperaturi kako bi se ekstraktima omogućilo da difunduju u medijum, a zatim su inkubirane 24 sata na 37 °C. Nakon inkubacije, izmereni su prečnici zona inhibicije i zabeleženi u milimetrima (mm). Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.5. Priprema i analiza smeša osušenog bilja u cilju odabira optimalnog sastava mešavine

Za pripremu smeša sa različitim udelom pojedinog osušenog začinskog bilja u svakoj, nakon odabira optimalnog postupka sušenja za pojedinačni biljni uzorak, korišćen je simplex-lattice dizajn. U ovom dizajnu, razmatrana je mešavina sa tri komponente, gde svaka komponenta može biti prisutna na četiri jednako razmaknuta nivoa (tj. 0, 0,333, 0,667 i 1). Mešavine sastavljene od maksimalno tri komponente sa ovim proporcijama stvaraju simpleks-rešetku 3 × 3, što rezultuje sa ukupno 10 smeša (tabela 25).

Tabela 25. Sastav smeša začinskog bilja definisan eksperimentalnim dizajnom

Redni broj smeše	Šifra	Maseni udeo komponente u smeši		
		Celer (C90)	Peršun (PFD)	Kurkuma (TFD)
1.	TO	0	0	1
2.	PT2	0	0,333	0,667
3.	PT3	0	0,667	0,333
4.	PO	0	1	0
5.	CT5	0,333	0	0,667
6.	CPT6	0,333	0,333	0,333
7.	CP7	0,333	0,667	0
8.	CT8	0,667	0	0,333
9.	CP9	0,667	0,333	0
10.	CO	1	0	0

4.5.1. Određivanje hemijskog sastava smeša osušenog začinskog bilja

Sadržaj pepela, sirovih proteina i sirovih masti određen je kako je prethodno opisano u poglavljima 4.3.3-4.3.5. Sadržaj pepela, sirovih proteina i sirovih masti u ispitivanim uzorcima je izražen u g/100g uzorka (%).

4.5.2. Određivanje boje

Boja uzoraka određena je u tri ponavljanja upotrebom kolorimetra Minolta Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japan) i odgovarajućeg nastavka CR-A50 namenjenog za merenje boje praškastih uzoraka. Za merenja je korišćeno D–65 osvetljenje, standardni ugao posmatranja od 2° i prečnik kontaktne površine od 8 mm.

Pre merenja obavljena je kalibracija standardom bele boje. Rezultati su izraženi prema CIELab sistemu boja (CIE, 1976) kao svetloća boje L* (gde 0 označava crno, a 100 belo), udeo crvene/zelene boje (a* > 0 označava crvenu i a* < 0 označava zelenu boju), udeo žute/plave boje (b* > 0 označava žutu i b* < 0 označava plavu boju), zasićenost boje (C*) i ugao boje (h).

4.5.3. Određivanje ukupnih polifenola i antioksidativnog potencijala smeša začina

4.5.3.1. Ekstrakcija uzoraka

Odabrani uzorci celera, peršuna i kurkume su samleveni u laboratorijskom mlinu (Knifetec 1095 Sample Mill, Foss A/S, Hillerød, Danska) i mešavine uzoraka su napravljene prema prethodno definisanom eksperimentalnom dizajnu (tabela 25). Za ekstrakciju odvagano je oko 5 grama uzorka (pojedinačnog biljnog materijala ili u kombinaciji) i preliveno je sa 50 mL 80% etanola. Nakon toga, sprovedena je ekstrakcija uzorka potpomognuta ultrazvučnim talasim (WUC-A03H, Witeg Labortechnik, Wertheim, Nemačka) u trajanju od 90 minuta. Nakon ekstrakcije, suspenzija je profiltrirana kroz filter-papir Whatman br. 4 (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Nemačka) u odmernu tikvicu od 50 mL. Ekstrakcija uzoraka je rađena u triplikatu. Filtrat je dopunjen sa 80% etanolom do oznake. Na ovaj način dobijeni su ekstrakti približne koncentracije 0,1 g/mL (izraženo na masu biljnog materijala). Tečni ekstrakt zaštićen je od svetlosti aluminijumskom folijom i čuvan na 4 °C u frižideru do momenta analize. Da bi se procenila antimikrobna, antihiperglikemijska, antihipertenzivna i antihiperholesterolemijska aktivnost finalne formulacije korenasto-krtolastog začinskog bilja, tečni ekstrakt je uparen pod sniženim pritiskom na temperaturi koja ne prelazi 40 °C, a zatim je sušen u eksikatoru do konstantne mase.

4.5.3.2. Određivanje sadržaja ukupnih polifenola

Sadržaj ukupnih polifenola u mešavinama osušenih začina određen je prema metodi opisanoj u poglavlju 4.4.2.1. korišćenjem tečnih ekstrakata približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja gde je bilo potrebno. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja i izraženi u miligramima galne kiseline ekvivalent po gramu uzorka (mg GAE/g).

4.5.3.3. Određivanje antioksidativne aktivnosti

4.5.3.3.1. DPPH$^{\bullet}$ test

Antioksidativna aktivnost uzoraka mešavina osušenog bilja definisanih eksperimentalnim dizajnom s obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test određena je na način kako je opisano u poglavlju 4.4.4.1. Korišćeni su tečni ekstrakti približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja gde je bilo potrebno. Rezultati su izraženi u mikromolima troloksa po gramu uzorka (μmol Troloksa/g), koristeći jednačinu pravca prikazanu u Prilogu 9. Svi rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.5.3.3.2. ABTS$^{\bullet+}$ test

Antioksidativna aktivnost uzoraka definisanih eksperimentalnim dizajnom mešavina osušenog bilja s obzirom na ABTS$^{\bullet+}$ test određena je na način kako je opisano u poglavlju 4.4.4.2. Korišćeni su tečni ekstrakti približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja gde je bilo potrebno. Rezultati su izraženi u mikromolima troloksa po gramu uzorka (μmol Troloksa/g), koristeći jednačinu pravca iz Priloga 10. Svi rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.5.3.3.3. FRAP test

Antioksidativna aktivnost uzoraka definisanih eksperimentalnim dizajnom mešavina osušenog bilja s obzirom na FRAP test određena je na način kako je opisano u poglavlju 4.4.4.3. Korišćeni su tečni ekstrakti približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja gde je bilo potrebno. Rezultati su izraženi u mikromolima Fe^{2+} po gramu uzorka (μmol Fe^{2+}/g). Svi rezultati su prikazani kao srednja vrednost tri ponavljanja.

4.5.4. Senzorska analiza

U cilju analiziranja senzorskog profila i usaglašenosti senzorskog kvaliteta uzoraka, osnovni vodeni ekstrakti uzoraka pripremljeni su zagrevanjem 2,50 grama uzorka u 1000 mL vode na 70 °C tokom 30 minuta (Lawless i sar., 2012). Ovi osnovni vodeni ekstrakti korišćeni su za pripremu eksperimentalnih uzoraka sa različitim masenim udelima biljnih materijala, kako je navedeno eksperimentalnim dizajnom.

Dvadeset mililitara svakog uzorka prebačeno je u kodirane staklene flašice (zapremine 200 mL) sa čepovima i servirani na sobnoj temperaturi, ostavljajući dovoljno prostora iznad tečnosti da bi se omogućilo uravnoteženje pritiska pare i isparavanje aromatičnih komponenti iz testiranog uzorka. Svi uzorci su pripremljeni istog dana kada je sprovedena senzorska analiza kako bi se osigurala svežina uzoraka. Postupkom je predviđeno da ocenjivači mogu koristiti referentne rastvore uzoraka celera, peršuna i kurkume, koncentracije 0,08%, kao najniže koncentracije uzoraka korišćene tokom senzorske analize. Svakom ocenjivaču su dostavljeni referentni uzorci zajedno sa setom testnih uzoraka, a proces evaluacije je sproveden bez ponavljanja.

Samleveni uzorci C90, PFD i TFD korišćeni su pojedinačno ili kao različite aromatične mešavine u odnosu definisanom prema eksperimentalnom dizajnu (tabela 25). Pre senzorske analize, uzorci su čuvani u belim papirnim vrećicama na tamnom i suvom mestu. Njihova senzorska svojstva su analizirana nakon pripreme vodenih ekstrakata.

Broj ocenjivača za utvrđivanje senzorskog profila proizvoda određen je prema standardu ISO 13299 (*ISO 13299. Sensory Analysis - Methodology - General Guidance for Establishing a Sensory Profile*), koji preporučuje da deskriptivni panel ima od 8 do 12 obučenih ocenjivača. Učesnici u senzorskoj analizi bili su studenti i osoblje (10 žena i 2 muškarca) Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina. Oni su bili odabrani ocenjivači i obučeni prema propisanim standardnim procedurama za sprovođenje deskriptivne analize (*ISO 4121. Sensory Analysis - Guidelines for the Use of Quantitative Response Scales*; *ISO 6658. Sensory Analysis - Methodology - General Guidance*; *ISO 8586. Sensory Analysis - General Guidelines for the Selection, Training and Monitoring of Selected Assessors and Expert Sensory Assessors*; *ISO 13299. Sensory Analysis - Methodology - General Guidance for Establishing a Sensory Profile*). Učesnici su potvrdili da nemaju alergije na hranu.

Senzorska ocena pripremljenih vodenih rastvora korena celera i peršuna te rizoma kurkume i njihovih smeša je analizirana deskriptivnom metodom da bi se sagledali njihovi senzorski profili i da bi se uporedio njihov kvalitet. Ključni atributi (miris i

aroma; ukus; utisak u ustima) su analizirani na osnovu identifikovanog intenziteta. Istovremeno ocenjeni su i intenziteti modaliteta ukusa (slatko, slano, kiselo i gorko) i utiska u ustima (bljutav, osvežava/hladi, pecka, metalni utisak, skuplja usta-astrigencija). Ocene za intenzitet ključnih atributa bile su u rasponu od 5 (veoma intenzivno) do 1 (veoma blago). Usaglašenost senzorskog kvaliteta mirisa, arome i ukusa uzoraka (proizvoda) ocenjena je u rasponu od 5 (odličan) do 1 (loš). Odabrane senzorske karakteristike uzoraka opisane su odgovarajućim atributima, a intenzitet deskriptorima za koje su dodeljeni odgovarajući kodovi, kao što je predstavljeno u uputstvu za ocenjivanje (Prilog 11), radi lakšeg evidentiranja u ocenjivački list (Prilog 12). Ocenjivanje je sprovedeno u individualnim senzorskim boksovima u propisanim uslovima *(ISO 8589. Sensory Analysis – General Guidance for the Design of Test Rooms)* u Laboratoriji za senzorsku analizu namirnica na Tehnološkom fakultetu u Banjoj Luci. Ocenjivači su sprovodili analizu u grupama od 4 ili 5 ocenjivača. Skup ključnih senzorskih atributa proizvoda, za potrebe eksperimenta, pripremljen je na osnovu preliminarne senzorske analize uzoraka i korišćenjem podataka iz literature (El-Zaeddi i sar., 2016; Lawless i sar., 2012; MacLeod i Ames, 1989; Petropoulos i sar., 2008). Izgled uputstva za ocenjivanje prikazan je u Prilogu 11.

Procedurom je definisan redosled isporuke uzoraka i pojedinačne senzorske analize: CP7 i CP9; CT8 i CT5; PT3 i PT2; CPT6; uzorci CO, PO, TO. Analiza seta od 10 uzoraka trajala je približno 1 sat sa kraćim pauzama za odmor ocenjivača. Ocenjivačima su servirane papirne bele salvete, čaša sa vodom za piće (iz sistema javnog snabdevanja, temperature 20–23 °C), posuda za ispljuvak, olovka, posebno pripremljeni ocenjivački list i uputstva za ocenjivanje. Miris i aroma su analizirani retronazalnom metodom. Procena arome uzorka sprovedena je retronazalnom metodom, prateći standardnu proceduru unosom vodenog rastvora u usnu šupljinu, dok je procena mirisa sprovedena direktnim mirisanjem, prinošenjem uzorka neposredno ispod nosa i udisanjem isparljivih komponenti. Članovi panela su dobili instrukcije da uzmu 5–10 mL testiranog uzorka u usta pomoću kašike i da analiziraju miris i aromu uzorka, držeći uzorak u zatvorenim ustima. Za regenerisanje čula korišćen je beli hleb i voda za piće.

4.5.5. Ispitivanje hemijskog sastava i bioloških aktivnosti optimalne smeše povezanih sa unapređenjem zdravlja

Nakon odabira optimalne formulacije smeše začinskih biljaka, dodatno su analizirani hemijski sastav (sadržaj vlage, aktivnost vode, sastav masnih kiselina i mineralni sastav) i biološke aktivnosti finalnog proizvoda povezane sa unapređenjem zdravlja (antioksidativna, antimikrobna, antihiperglikemijska, antihipertenzivna i antihiperholesterolemijska aktivnost).

4.5.5.1. Određivanje hemijskog sastava optimalne smeše

Sadržaj vlage, aktivnost vode, sastav masnih kiselina i mineralni sastav optimalne smeše određeni su na način opisano u poglavljima 4.3.1, 4.3.2, 4.3.6 i 4.3.8, respektivno. Sadržaj pojedinačnih elemenata u finalnom proizvodu izražen je u mg po kilogramu (mg/kg) uzorka.

4.5.5.2. Određivanje bioloških aktivnosti finalnog proizvoda povezanih sa unapređenjem zdravlja

4.5.5.2.1 Određivanje sadržaja ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u optimalnoj smeši

Sadržaj ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u optimalnoj smeši određen je prema metodama opisanim u poglavljima 4.4.2.2.- 4.4.2.4. Korišćen je tečni ekstrakti (poglavlje 4.5.3.1) približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja gde je bilo potrebno.

4.5.5.2.2. Određivanje antioksidativne aktivnosti prema $DPPH^{\bullet}$ i $ABTS^{\bullet+}$ testu

Antioksidativna aktivnost optimalne smeše prema $DPPH^{\bullet}$ i $ABTS^{\bullet+}$ testu određena je prema metodama opisanim u poglavljima 4.4.4.1 i 4.4.4.2, respektivno. Korišćen je tečni ekstrakti (poglavlje 4.5.3.1) približne koncentracije 0,1 g/mL uz korišćenje odgovarajućih razblaženja za $DPPH^{\bullet}$ test (u opsegu od oko 400-1250 µg/mL) i ABTS test$^{\bullet+}$ (u opsegu od oko 68-200 µg/mL).

4.5.5.2.3 HPLC analiza polifenolnih jedinjenja

Analiza pojednačnih polifenolnih jedinjenja u optimalnoj smeši određena je HPLC metodom na isti način kako je opisano u poglavlju 4.4.3. Obavljena je ekstrakcija uzorka sa 50% metanolom potpomognuta ultrazvučnim talasima (Sonic 12 GT, VIMS

elektrik, Tršić, Srbija) u trajanju od 90 minuta. Nakon ekstrakcije, suspenzija je profiltrirana kroz filter-papir Whatman br. 4 (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen, Nemačka). Rezultati su izraženi u μg/100 g uzorka.

4.5.5.2.4. Antihiperglikemijska aktivnost (proširen panel analiza)

Antihiperglikemijska aktivnost je analizirana sposobnošću uzorka da inhibira aktivnost enzima α-amilaze i α-glukozidaze. Za inhibiciju α-amilaze, 90 μL α-amilaze (0,1 μg/mL) je pomešano sa 80 μL rastvora skroba i 10 μL ekstrakta (5 mg/mL) ili akarboze (0,125–3 mg/mL). Nakon inkubacije na 37 °C tokom 10 minuta, reakcija je zaustavljena sa 100 μL 1 M HCl. Zatim je dodano 20 μL Lugolovog rastvora i apsorbanca je merena na 620 nm. Za inhibiciju α-glukozidaze, 100 μL fosfatnog pufera (pH 6,8) je pomešano sa 10 μL α-glukozidaze (0,1 U/mL), 20 μL ekstrakta (20 μg/mL) ili akarboze (0,310–10 mg/mL) i 20 μL p-nitrofenil α-D-glukozida. Nakon inkubacije, dodano je 80 μL Na_2CO_3, a apsorbanca je izmerena na 400 nm. Rezultati su izraženi kao procenat inhibicije i mg akarboze ekvivalent (ACAE)/g suvog ekstrakta (se). Dodatno, antihiperglikemijska aktivnost finalnog proizvoda analizirana je metodom opisanom u poglavlju 4.4.4. Svi testovi su sprovedeni u tri ponavljanja.

4.5.5.2.5. Antihipertenzivna aktivnost

Ova metoda je zasnovana na merenju inhibicije angiotenzin konvertujućeg enzima (ACE) pomoću UV spektrofotometra na osnovu formiranja hipurne kiseline iz supstrata hipuril-L-histidil-L-leucina (HHL) katalizovanog ACE-om (Rachmawati i sar., 2016; Vučetić i sar., 2025). 50 μL ACE (25 mU/mL) je inkubirano sa 50 μL ekstrakta na 37 °C tokom 10 minuta, nakon čega je dodato 150 μL rastvora supstrata (8,3 mM HHL u 50 mM natrijum-boratnom puferu koji sadrži 0,5 M NaCl, pH=8,3). Nakon 30 minuta na 37 °C, reakcija je zaustavljena sa 250 μL 1 M HCl. Potom je dodano 0,5 mL etil-acetata, a nakon centrifugiranja gornji sloj je sakupljen i uparen pod sniženim pritiskom. Ekstrahovana hipurna kiselina je rastvorena u 1 mL destilovane vode, a apsorbanca je izmerena na 228 nm. Kao standard korišćen je kaptopril. Procenat inhibicije izračunat je na osnovu jednačine (5):

$$\mathrm{I}\,(\%) = \frac{\mathrm{A_{kontrole}} - \mathrm{A_{uzorka}}}{\mathrm{A_{kontrole}}} \times 100\% \qquad (5)$$

4.5.5.2.6. Antihiperholesterolemijska aktivnost

Antihiperholesterolemijska aktivnost je određena merenjem smanjenja apsorpcije NADPH delovanjem enzima 3-hidroksi-3-metillglutaril-koenzim A reduktaze (HMGR) u prisustvu supstrata HMG-koenzima A (HMG-CoA) (Rachmawati i sar., 2016; Vučetić i sar., 2025). Test rastvori sa različitim koncentracijama ekstrakta su pomešani sa reakcionom smešom koja sadrži NADPH, HMG-CoA i HMGR. Apsorbanca je merena na 340 nm svakih 20 sekundi tokom 10 minuta na 37 °C da bi se procenila brzina inhibicije enzima.

4.5.5.2.7. Određivanje minimalne inhibitorne koncentracije optimalne smeše

Antimikrobni potencijal optimalnog procenjena je određivanjem minimalne inhibitorne koncentracije (*eng*. Minimal Inhibitory Concentration) metodom razblaživanja u bujonu, prateći smernice Instituta za kliničke i laboratorijske standarde (CLSI (*eng.* Clinical and Laboratory Standards Institute), 2020) sa manjim izmenama. Testirani su sledeći mikroorganizmi: *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Salmonella* Typhimurium (ATCC 14028), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Candida albicans* (ATCC 10231) i *Aspergillus niger* (ATCC 16404). Suspenzija inokuluma (pripremljena u Miler-Hinton bujonu (za bakterije) odnosno Saburo dekstroznom bujonu (za gljivice i plesni)) podešena je do gustine 0,5 McFarland standardu (~1,5 × 10^8 CFU/mL za bakterije; ~1 × 10^6 CFU/mL za gljivice). Sve ploče su inkubirane na 37 °C tokom 24 sata za prokariote i na 28 °C tokom 48 sati za eukariote. MIC je definisan kao najniža koncentracija uzorka pri kojoj nije primećen vidljiv rast mikroorganizama. Svi testovi su sprovedeni u tri ponavljanja.

4.6. Statistička obrada podataka

4.6.1. Statistička obrada podataka pri odabiru optimalnog postupka sušenja za pojedinačni biljni uzorak

Eksperimentalno dobijeni podaci su obrađeni korišćenjem softverskog paketa STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., Talsa, Oklahoma, SAD), prikazane su tabele deskriptivne statistike, obavljena je Pearson-ova analiza korelacije parametara, klasterska analiza i analiza glavnih komponenti (PCA) parametara. Rezultati analiza su predstavljeni kao srednje vrednosti (sa minimalno 3 ponavljanja) sa standardnim

devijacijama. Homogenost varijanse je procenjena pomoću Leven-ovog testa, a normalnost raspodele vrednosti parametara je proverena pomoću Shapiro-Wilk-vog testa. Rezultati merenja su podvrgnuti jednofaktorskoj analizi varijanse (ANOVA), a zatim Tukey HSD *post hoc* testu.

4.6.1.1. Modelovanje podataka primenom veštačke neuronske mreže (*eng*. ANN)

U fazi modelovanja podataka primenom veštačke neuronske mreže, koja je obuhvatila 15 uzoraka, podaci su podeljeni na skup za učenje (60% podataka), skup za unakrsnu validaciju (20%) i skup za testiranje (20%). U cilju povećanja tačnosti ANN modela, primenjena je min-max normalizacija ulaznih i izlaznih podataka. Predloženi višeslojni perceptronski ANN model (MLP) imao je troslojnu arhitekturu sa dizajnom povratne sprege i koristio je algoritam učenja povratnim širenjem greške, kao što je objašnjeno u prethodnim studijama (Bajić i sar., 2020; Pavlić i sar., 2019). Tokom ispitivanja mreže, testiran je skriveni sloj koji se sastojao od 5 do 10 neurona, a ispitivane su različite aktivacione funkcije (tangens hiperbolikus, sigmoidalna, eksponencijalna i identična funkcija).

Tokom ciklusa učenja, neuronskim mrežama je iterativno predstavljena baza ulaznih podataka (Šovljanski i sar., 2021), kao što je prikazano u jednačini (6):

$$Y = f_1(W_2 \cdot f_2(W_1 \cdot X + B_1) + B_2) \quad (6)$$

gde su f_1 i f_2 transferne funkcije za skriveni i izlazni sloj, redom; X i Y matrice ulaznih i izlaznih promenljivih, redom; W_1 i W_2 matrice težinskih koeficijenata za skriveni i izlazni sloj, redom; B_1 i B_2 nulte vrednosti (*eng.* bias) za skriveni i izlazni sloj, redom.

U toku konstruisanja ANN modela korišćen je Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algoritam, pomoću koga su iterativno podešavani težinski koeficijenti i nulte vrednosti u 100 000 slučajno generisanih različitih konfiguracija neuronske mreže. Cilj podešavanja parametara mreže je da se kvadratna greška svede na minimum, odnosno da se i krive učenja i unakrsne validacije ne približe nuli. Težinski koeficijenti i nulte vrednosti skrivenih i izlaznih slojeva predstavljene su matricama W_1, B_1, W_2 i B_2, respektivno. Ovi težinski koeficijenti i nulte vrednosti su određene tokom procesa učenja ANN, pri čemu su primenjene procedure optimizacije kako bi

se minimizirala greška između modelom predviđenih izlaznih vrednosti i eksperimentalnih vrednosti (Šovljanski i sar., 2020).

Tačnost ANN modela je procenjena kroz niz uobičajenih statističkih testova, uključujući koeficijent determinacije (r^2), redukovani hi-kvadrat (χ^2), srednju grešku pristrasnosti (*MBE*), koren srednje vrednosti kvadratne greške (*RMSE*), srednju vrednost procentualne greške (*MPE*), zbir kvadratnih grešaka (*SSE*) i prosečno apsolutno relativno odstupanje (*AARD*) (Erceg i sar., 2024).

4.6.1.2. Standardne ocene

Rangiranje 15 uzoraka sprovedeno je poređenjem eksperimentalnih podataka sa ekstremnim vrednostima, prateći metodologiju koju su opisali Brlek i saradnici (2013).

Kriterijumi za rangiranje zasnovani su na analiziranim parametrima uzoraka kao što su sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola, ukupnih flavan-3-ola, FRAP antioksidativni test, kao i vrednosti za parametre L* (za sve uzorke), a* i b* vrednosti (za uzorke kurkume) sa preferencijom za više vrednosti ("što više, to bolje", pri čemu je korišćena jednačina (7)), i IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS} (za sve uzorke), a* i b* vrednosti (za uzorke celera i peršuna) sa preferencijom za niže vrednosti ("što manje, to bolje", pri čemu je korišćena jednačina (8)).

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \forall_i \quad (7)$$

$$\overline{x}_i = 1 - \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \forall_i \quad (8)$$

gde je: $\bar{x}_i$ predstavlja normalizovanu ocenu parametra *x*, x_i eksperimentalni podatak. Jednačine (7) i (8) su korišćene za poređenje eksperimentalnih vrednosti parametara (označenih kao x_i) sa njihovim ekstremnim vrednostima. Vrednost SS je izračunata kao srednja vrednost normalizovanih ocena svakog uzorka na osnovu različitih parametara, pružajući prepoznatljivu bezdimenzionu vrednost SS za određeni uzorak koja integriše podatke dobijene na osnovu različitih metoda merenja.

4.6.1.3. Analiza korelacija, klasterska analiza i analiza glavnih komponenti (*eng*. Principal Component Analysis, PCA)

Hijerarhijsko grupisanje, poznato i kao hijerarhijska analiza klastera, predstavlja metodu za kategorizaciju sličnih objekata u grupe koje se nazivaju klasteri. Hijerarhijsko klasterovanje uključuje hijerarhijsko stablo sa više nivoa, pri čemu se klasteri sa jednog nivoa spajaju u klastere na sledećem nivou, a algoritam grupiše objekte sa sličnim osobinama. Na kraju, algoritam vraća skup klastera ili grupa, pri čemu su klasteri međusobno različiti, dok su objekti unutar svakog klastera međusobno slični. Cilj ove tehnike je kvantifikovati geometrijsku udaljenost (ili sličnost) između podataka prema unapred definisanoj metrici i koristiti dendrogram za predstavljanje ovih udaljenosti i otkrivanje hijerarhijskih odnosa (Ranjbarzadeh i sar., 2023; Yu i Hou, 2022).

Analiza glavnih komponenti (*eng*. PCA) i analiza korelacije su sprovedene radi interpretacije i strukturisanja rezultata, sa ciljem da se istaknu razlike i identifikuju grupe među testiranim uzorcima. Kod PCA, početne promenljive su transformisane u skup linearno nezavisnih promenljivih, poznatih kao glavne komponente (PC), putem dekompozicije sopstvenih vrednosti.

4.6.2. Statistička obrada podataka za izbor optimalnog sastava smeše korenasto-krtolastih začinskih biljka

Normalnost raspodele podataka procenjena je korišćenjem Shapiro-Wilk-ovog testa i Anderson-Darling-ovog testa. Rezultati su pokazali da većina varijabli nije odstupala od normalne raspodele, na nivou $p>0,05$. Rezultati su izraženi kao srednje vrednosti (sa tri merenja) sa odgovarajućim standardnim devijacijama. Razlike između srednjih vrednosti uzoraka analizirane su korišćenjem Tukey-ovog HSD *post h*oc testa. Statistička analiza je obuhvatala deskriptivnu statistiku i ANOVA analizu.

4.6.2.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) i korelaciona analiza

Analiza glavnih komponenti (*eng.* Principal Component Analysis, PCA) i analiza korelacije su sprovedene radi interpretacije i strukturisanja rezultata, sa ciljem da se istaknu razlike i identifikuju grupe među testiranim uzorcima. Početne promenljive su transformisane u skup linearno nezavisnih promenljivih, poznatih kao glavne komponente (PC), putem dekompozicije sopstvenih vrednosti. Svi eksperimentalni podaci su analizirani kroz sveobuhvatnu statističku analizu, uključujući deskriptivnu

statistiku, PCA analizu i Pearson-ovu analizu korelacije, korišćenjem softverskog paketa STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., Talsa, Oklahoma, SAD).

4.6.2.2. Standardne ocene (SS)

Uzorci su rangirani poređenjem eksperimentalnih podataka iz svakog testa sa ekstremnim vrednostima, prateći metodologiju koju su opisali Brlek i saradnici (2013). U ovom procesu rangiranja primenjen je kriterijum: „što više, to bolje" za parametre kao što su sadržaj ukupnih polifenola, antioksidativna aktivnost (procenjena $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP testovima) i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta, kao što je definisano u prethodno napisanoj jednačini (7). U ovom pristupu rangiranja, jednačina (7) je korišćena za poređenje eksperimentalnih podataka (označenih kao x_i) sa odgovarajućim ekstremnim vrednostima. Vrednost SS je izračunata kao srednja vrednost normalizovanih ocena svakog uzorka korišćenjem više parametara, pružajući prepoznatljivu vrednost koja integriše različite parametre istog uzorka.

4.6.2.3. Modelovanje podataka primenom veštačke neuronske mreže (ANN)

Za modelovanje je korišćen troslojni-višeslojni perceptronski mode (MLP), na osnovu prethodnih istraživanja u kojima je pokazano da efikasno sprovodi aproksimaciju nelinearne funkcije (Latinović i sar., 2024). Modeli veštačke neuronske mreže (ANN) su odabrani za ovu studiju zbog njihove dokazane sposobnosti da modeluju složene, nelinearne odnose između ulaznih promenljivih i izlaza. Za razliku od tradicionalnih statističkih metoda, ANN modeli mogu da uče iz eksperimentalnih podataka bez potrebe za eksplicitnim pretpostavkama o osnovnoj raspodeli podataka, što ih čini posebno pogodnim za modelovanje višefaktorskih formulacija i predviđanje bioaktivnih i senzorskih ishoda u prehrambenim sistemima. Troslojni MLP (višeslojni perceptron) je izabran na osnovu njegove široke efikasnosti u aproksimaciji nelinearnih relacija, što je opisano u prethodnim studijama u sličnim kontekstima formulacije prehrambenih proizvoda i prediktivnog modelovanja. Ova arhitektura, koja se sastoji od ulaznog sloja, jednog skrivenog sloja i izlaznog sloja, prvobitno je odabrana na osnovu literature, a potom je primenjena tokom testiranja broja neurona u skrivenom sloju (Vučetić i sar., 2025).

Veštačka neuronska mreža (ANN) je konfigurisana korišćenjem povratne sprege i korišćenjem algoritma učenja sa povratnim širenjem greške. Eksperimentalni podaci

za ANN su nasumično podeljeni u dva podskupa: skup za učenje, koji obuhvata 70% podataka, i skup za testiranje, koji obuhvata preostalih 30%.

Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) algoritam je korišćen za optimizaciju parametara veštačke neuronske mreže, koji predstavlja iterativnu metodu za rešavanje neograničenih nelinearnih problema vezanih za optimizaciju. Proces učenja sastojao se od 100 000 epoha, što odgovara ukupnom broju koraka učenja.

Nakon optimizacije ANN modela, sprovedeno je nekoliko standardnih statističkih testova da bi se procenile performanse konstruisanih nelinearnih modela, uključujući koeficijent determinacije (r^2), redukovani hi-kvadrat (χ^2), srednju grešku pristrasnosti (*MBE*), koren srednje vrednosti kvadratne greške (*RMSE*), srednja vrednost procentualne greške (*MPE*), zbir kvadratnih grešaka (*SSE*) i prosečno apsolutno relativno odstupanje (*AARD*). Ovi široko korišćeni statistički pokazatelji kvaliteta modelovanja izračunati su prema jednačinama (9 – 14) (Šovljanski i sar., 2022):

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_{exp,i}-x_{pre,i})^2}{N-n} \quad (9)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}(x_{pre,i}-x_{exp,i})^2\right]^{1/2} \quad (10)$$

$$M\mathrm{BE} = \frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}(x_{pre,i}-x_{exp,i}) \quad (11)$$

$$M\mathrm{PE} = \frac{100}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{|x_{pre,i}-x_{exp,i}|}{x_{exp,i}}\right) \quad (12)$$

$$S\mathrm{SE} = \sum_{i=1}^{N}(x_{pre,i}-x_{exp,i})^2 \quad (13)$$

$$A\mathrm{ARD} = \frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{x_{exp,i}-x_{pre,i}}{x_{exp,i}}\right| \quad (14)$$

gde su: $x_{exp,i}$ eksperimentalna merenja i $x_{pre,i}$ modelom predviđene vrednosti parametara, *N* i *n* su broj merenja i konstanti, respektivno.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju predstavljeni su i analizirani rezultati dobijeni sprovođenjem eksperimentalnih ispitivanja uticaja različitih postupaka sušenja na hemijski sastav, bioaktivna svojstva i boju podzemnih delova odabranih korenasto-krtolastih biljaka: celera, peršuna i kurkume. Kao što je prikazano na slici 13, analiza je obuhvatila niz koraka u cilju fizičko-hemijske karakterizacije uzoraka, određivanja biološkog potencijala, kvantifikacije bioaktivnih jedinjenja, kao i senzorsku evaluaciju formulisane mešavine ovih začinskih biljaka. Dobijeni rezultati poslužili su kao osnova za optimizaciju tehnološkog postupka sušenja za svaku biljnu vrstu pojedinačno i razvoj inovativnog prehrambenog proizvoda sa poboljšanim nutritivnim i zdravstvenim svojstvima. Diskusija rezultata u ovom poglavlju omogućava dublje razumevanje međuzavisnosti između postupaka sušenja i očuvanja funkcionalnih komponenti biljnih materijala, kao i identifikaciju najpovoljnijih kombinacija u cilju formulisanja senzorsko prihvatljivog i biološki aktivnog dodatka ishrani.

5.1. Osnovni hemijski sastav korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja

Osnovni hemijski sastav uzoraka celera prikazan je u tabeli 26. Na osnovu prikazanih podataka, može se zaključiti da se sušenjem u svim uzorcima statistički značajno smanjio sadržaj vlage u odnosu na kontrolni uzorak (p<0,05). Suva materija u uzorku CF (9,96%) bila je skoro identična onoj koju su prijavili Kręcisz i saradnici (2024), a koja je iznosila 9,89%, a nešto viša u odnosu na rad Kian-Pour i saradnika (2022) gde je iznosila 7,45%. Sadržaj suve materije bio je najviši u uzorcima C60 i C90, bez statistički značajne razlike, a zatim su sledeli uzorci CRT i CFD, respektivno. Sušenjem se statistički značajno smanjila aktivnost vode kod svih osušenih uzoraka celera, a najviše kod uzoraka C60 i C90. Aktivnost vode je bila u izvesnoj korelaciji sa sadržajem vlage u uzorcima, pa je tako najviša vrednost ovog parametra bila u kontrolnom uzorku (0,916), približna vrednosti koju su prijavili Kręcisz i saradnici (2024), a koja je iznosila 0,925. Rezultati za aktivnost vode za konvektivno osušene uzorke u sušnici bili su u skladu sa rezultatima Kręcisz i saradnici (2024) (0,187-0,480). Iako je uzorak CRT imao viši sadržaj suve materije, aktivnost vode u tom uzorku bila je viša u poređenju sa uzorkom CFD. Sličan zaključak izveden je i u studiji autora Savas (2022), gde je ispitivan sadržaj vlage i aktivnost vode u kriškama jabuke različite debljine kriški, gde su ustanovili da pojedini uzorci sa višim sadržajem vlage imaju nižu vrednost aktivnosti vode.

Takođe, relativno male promene u suvoj materiji (kao npr. hidroliza saharoze, skroba i dr.) mogu značajno da utiču na kapacitet vezane vode, odnosno da se pri istoj količini vode menja aktivnost vode (Koprivica, 2008). Rajkumar i saradnici (2017) su ustanovili nešto niže vrednosti aktivnosti vode u uzorcima osušenim konvektivnim postupkom u odnosu na liofilizovane uzorke, iako su liofilizovani uzorci imali niži sadržaj vlage. Svi osušeni uzorci su imali aktivnost vode ispod 0,6, pri čemu se pri toj vrednosti mogu smatrati mikrobiološki bezbednim i stabilnim (Ciurzyńska i sar., 2025).

Tabela 26. Osnovni hemijski sastav korena celera pre i nakon sušenja

Uzorak	Suva materija (%)	Aktivnost vode (a_w)	Pepeo (%)	Sirova mast (%)	Sirovi proteini (%)
CF	9,96±0,03^{d}	0,916±0,001^{a}	11,87±0,36^{b}	0,45±0,013^{d}	16,99±0,15^{b}
CRT	91,24±0,20^{b}	0,344±0,001^{b}	13,02±0,59^{a}	1,05±0,011^{b}	17,73±0,22^{a}
C60	96,53±0,10^{a}	0,220±0,001^{d}	11,80±0,10^{b}	1,07±0,04^{b}	14,57±0,08^{c}
C90	96,85±0,26^{a}	0,219±0,000^{d}	11,76±0,16^{b}	1,00±0,016^{c}	14,33±0,13^{c,d}
CFD	90,03±0,01^{c}	0,326±0,001^{c}	10,55±0,03^{c}	1,72±0,014^{a}	13,77±0,45^{d}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati za sadržaj pepela, sirove masti i sirovih proteina su izraženi na suvu materiju uzorka.

Sadržaj pepela je bio najviši u uzorku CRT, a najniži u uzorku CFD (13,02% i 10,55%, respektivno) (p<0,05). Sadržaj pepela u uzorcima C60 i C90 je bio skoro identičan i nisu se statistički značajno razlikovali od kontrolnog uzorka CF. Nešto viši sadržaj pepela u uzorcima sušenim konvektivnim postupkom u poređenju sa onima sušenim liofilizacijom može se pripisati termičkoj razgradnji ćelijskih zidova biljaka tokom sušenja vrućim vazduhom, što olakšava oslobađanje i koncentraciju mineralnih materija. Štaviše, intenzivnije izlaganje toploti prilikom sušenja na višim tempraturama može podstaći dehidraciju vezanih oblika minerala, čineći ih merljivijim tokom određivanja mineralnog sastava. Nasuprot tome, liofilizacija čuva ćelijski integritet i može ograničiti oslobađanje određenih minerala iz intracelularnih segmenata, što rezultuje njihovim nešto nižim sadržajem uprkos superiornom zadržavanju pojedinačnih rastvorljivih mineral. Razlike u očuvanju minerala su pod

uticajem hemijske i fizičke strukture proizvoda, matriksa koji vezuje minerale i isparljivosti određenih minerala (Kocaman i sar., 2025). Sadržaj pepela u uzorcima korena celera je bio niži u odnosu na literaturne podatke koji su se kretali u iznosu od 18,47% do 33,52% na suvu materiju (Golubkina i sar., 2020), ali viši u odnosu na rad Lisiewska i saradnika (2006) (6,29% na suvu materiju). Autori Anukriti i Neetu (2021) su takođe otkrili povećanje sadržaja pepela kod ispitivanih uzoraka prilikom sušenja na otvorenom. Sadržaj sirovih proteina bio je najviši u uzorku CRT (p<0,05), a najniži u uzorku CFD koji se nije statistički značajno razlikovao od uzorka C90 (p>0,05). Za dobijene vrednosti se može reći da su bili u skladu sa pronađenim literaturnim podacima (11,29-14,77%) (Milić i sar., 2024). Sadržaj sirovih proteina u uzorku CFD bio je viši u odnosu na rad Weselek i saradnika (2021) (oko 11%) Sadržaj proteina u uzorcima C60 i C90 bio je približno sličan i u iznosu od 14,57% i 14,33%, respektivno (p>0,05). Takođe, autori Dhakal i saradnici (2024) su prijavili neznatno viši sadržaj sirovih proteina u uzorku osušenom na 80 °C u odnosu na liofilizovani uzorak. Istu pojavu su primetili i Priyadarsini i saradnici. (2022) gde su prijavili viši sadržaj proteina u gljivama osušenim na 40 °C u odnosu na liofilizovane uzorke, gde je bio najniži u poređenju sa ostalim tehnikama sušenja. Sadržaj proteina u uzorku CRT je bio najviši verovatno iz razloga što uzorak nije izlagan ekstremnim temperaturnim vrednostima, pri čemu je u najmanjoj meri došlo do denaturacije proteina.

Sadržaj sirove masti bio je najniži u kontrolnom uzorku korena celera, dok je u uzorku CFD bio najviši (p>0,05). Prema ovom parametru, uzorci CRT i C60 nisu se statistički značajno razlikovali, dok je uzorak C90 imao nešto niži procenat masti pri čemu se statistički značajno razlikovao od prethodna dva uzorka (p<0,05). Za dobijene vrednosti sadržaja sirove masti u osušenim uzorcima se može reći da su bili nešto niži u odnosu na pronađene literaturne vrednosti (1,86-3,36%) (Milić i sar., 2024). Autori Weselek i saradnici (2021) su prijavili sadržaj masti u iznosu od 2,25-2,78% u lioflizovanom uzorku celera. Autori Dhakal i saradnici (2024) su takođe ustanovili viši sadržaj sirovih masti u ispitivanom liofilizovanom uzorku celera.

Osnovni hemijski sastav uzoraka peršuna prikazan je u tabeli 27. Iz prikazanih podataka, može se zaključiti da se sušenjem u svim uzorcima peršuna statistički značajno smanjio sadržaj vlage u odnosu na kontrolni uzorak (p<0,05). Najviši sadržaj suve materije, među osušenim uzorcima, bio je u uzorcima P60 i P90, a potom u uzorku PFD, pri čemu se vrednosti kod ova tri uzorka nisu međusobno statistički značajno razlikovale (p>0,05). Najniži sadržaj suve materije bio je u uzorku osušenom u otvorenom prostoru i iznosio je 90,77% (p<0,05). Vrednost za suvu materiju kontrolnog uzorka je bila niža u odnosu na istraživanje Dobričević i saradnika (2019) (18,39-28,95%) i niže od vrednosti dobijenih od strane Gorzelany i saradnici (2013) (21-32,06%). Vrednosti za suvu materiju i aktivnost vode su bile u korelaciji, izuzev kod uzoraka PRT i PFD, gde je uzorak PFD sa višim udelom suve materije imao višu vrednost aktivnosti vode. Slična pojava vezana za odnos između aktivnosti vode i suve materije primećena je kao i kod uzoraka celera. Sadržaj pepela bio je najviši u kontrolnom uzorku peršuna sa iznosom od 10,35%. Potom su sledeli uzorci PRT i PFD (8,58% i 8,37%, respektivno), bez statistički značajne razlike među njihovim vrednostima (p>0,05) te uzorci P60 i P90 sa 7,21% i 7,17% pepela, respektivno (p>0,05).

Tabela 27. Osnovni hemijski sastav korena peršuna pre i nakon sušenja

Peršun	Suva materija (%)	Aktivnost vode (a_w)	Pepeo (%)	Sirova mast (%)	Sirovi proteini (%)
PF	13,99±0,34^{c}	0,914±0,001^{a}	10,35±0,29^{a}	0,46±0,008^{d}	12,47±0,22^{a}
PRT	90,77±0,04^{b}	0,321±0,001^{c}	8,58±0,11^{b}	1,30±0,05^{c}	12,63±0,24^{a}
P60	93,04±0,04^{a}	0,257±0,001^{d}	7,21±0,17^{c}	1,32±0,02^{b,c}	11,36±0,08^{c}
P90	93,17±0,57^{a}	0,257±0,001^{d}	7,17±0,10^{c}	1,38±0,03^{b}	10,53±0,12^{d}
PFD	92,42±0,04^{a}	0,330±0,001^{b}	8,37±0,26^{b}	1,98±0,04^{a}	11,90±0,24^{b}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati za sadržaj pepela, sirove masti i sirovih proteina su izraženi na suvu materiju uzorka.

Sadržaj pepela u PFD uzorku bio je viši u poređenju sa rezultatima Petropoulos i saradnika (2022) (4,18-5,56%), a u kontrolnom uzorku niži u odnosu na Dinev i Mitova (2014) (15,16-17,04%). Slično kao i kod kontrolnog uzorka celera, i u kontrolnom uzorku peršuna uočen je najniži sadržaj sirovih masti sa iznosom od 0,46% (p<0,05), a najviši u uzorku PFD sa iznosom od 1,98% (p<0,05). Sadržaj sirovih masti u uzorku P60 iznosio je 1,32% i nije se statistički značajno razlikovao od uzoraka PRT i P90 (p>0,05). Sadržaj sirovih masti u uzorku PFD bio je u skladu sa rezultatima Petropoulos i saradnici (2022) (0,51-2,60%). Sadržaj sirovih proteina najviši je bio u uzorku PRT (12,63%) i nije se statistički značajno razlikovao od kontrolnog uzorka PF (12,47%) (p>0,05). S druge strane, najniži sadržaj sirovih proteina zabeležen je kod uzorka P90 (p<0,05). Sadržaj ovih jedinjenja je bio viši u uzorku PFD u odnosu na rad Petropoulos i saradnici (2022) (4,78-6,56%). Na osnovu ovih rezultata, viši sadržaj sirovih proteina i masti očuvan je u uzorcima koji su izlagani nižim temperaturama sušenja, dok je pri višim temperaturama sušenja njihov sadržaj smanjen.

Osnovni hemijski sastav uzoraka kurkume dat je u tabeli 28. Slično kao i kod prethodna dva uzorka, u svim osušenim uzorcima kurkume statistički se značajno smanjio sadržaj vlage u odnosu na kontrolni uzorak (p<0,05). Najviši sadržaj suve materije ustanovljen je u liofilizovanom uzorku TFD (91,38%), dok je najniži sadržaj suve materije u okviru tretiranih uzoraka bio u uzorku TRT u iznosu od 87,56% (p<0,05).

Tabela 28. Osnovni hemijski sastav rizoma kurkume pre i nakon sušenja

Kurkuma	Suva materija (%)	Aktivnost vode (a_w)	Pepeo (%)	Sirova mast (%)	Sirovi proteini (%)
TF	15,90±0,07^{a}	0,912±0,001^{a}	6,21±0,29^{b,c}	2,97±0,04^{d}	4,28±0,09^{c}
TRT	87,56±0,04^{b}	0,444±0,002^{b}	7,57±0,15^{a}	7,11±0,32^{b}	5,42±0,05^{a}
T60	88,48±0,09^{c}	0,478±0,007^{c}	6,35±0,33^{b}	6,74±0,26^{b}	4,75±0,32^{b}
T90	89,05±0,182^{d}	0,428±0,001^{d}	5,72±0,06^{c}	5,04±0,30^{c}	4,20±0,08^{c}
TFD	91,38±0,00^{e}	0,343±0,001^{e}	6,38±0,02^{b}	8,62±0,13^{a}	5,21±0,09^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati za sadržaj pepela, sirove masti i sirovih proteina su izraženi na suvu materiju uzorka.

Sadržaj suve materije u kontrolnom uzorku bio je viši u poređenju sa rezultatima Hirun i saradnici (2014) (8,5%) i Sharma i saradnici (2021) (6,5%) i manji u odnosu na istraživanje Singh i saradnika (2010) (20-30%), a sličan vrednosti koju su prijavili Llano i saradnici (2022) (16,8%).

Aktivnost vode je takođe bila najviša u kontrolnom uzorku, a najniža u liofilizovanom uzorku (p<0,05). Uzorak T60 je imao višu vrednost za aktivnost vode (0,478) u odnosu na uzorak TRT (0,444) (p<0,05) iako je imao veći udeo suve materije. Autori Llano i saradnici (2022) su prijavili vrednost za aktivnost vode u svežem uzorku kurkume značajno nižu i to u iznosu od 0,81, iako je sadržaj vlage bio sličan uzorku TF. Sadržaj pepela bio je najniži u uzorku T90 i nije se statistički značajno razlikovao od kontrolnog uzorka (p>0,05). Kontrolni uzorak se nije značajno razlikovao ni od uzoraka T60 i TFD sa sadržajima pepela u iznosu od 6,35% i 6,38%, respektivno (p>0,05). Kao i kod prethodna dva uzorka, najviši sadržaj pepela je uočen kod uzoraka osušenih u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi.

Sadržaj pepela u uzorku TRT je bio nešto viši u odnosu na rezultate Moulick i saradnici (2023) (6,26% na suvu materiju) u osušenim rizomima kurkume na sobnoj temperaturi, dok je bio niži u odnosu na istraživanje Madhusankha i saradnici (2019) za osušene rizome kurkume (7,59-10,03% na suvu materiju). Sadržaj sirove masti je bio najniži u kontrolnom uzorku i iznosio je 2,97% dok je najviši bio u uzorku TFD sa vrednošću od 8,62% (p<0,05). Generalno, kod svih svežih uzoraka celera, peršuna i

kurkume uočen je najniži sadržaj sirovih masti, a moguće objašnjenje za to je visok sadržaj vode u njima, koja zbog svoje polarnosti može uticati na ekstrakciju sirovih masti (Boadu i sar., 2021). Od tretiranih uzoraka sadržaj sirove masti je bio najniži u uzorku T90 (5,04%), a u uzorcima TRT i T60 iznosio je 7,11% i 6,74%, respektivno (p>0,05). Sadržaj sirovih masti u uzorku TRT je bio nešto niži u odnosu na rezultate Moulick i saradnika (2023) (7,96% na suvu materiju) u osušenim rizomima kurkume na sobnoj temperaturi.

Na osnovu dobijenih vrednosti vidi se da je sadržaj sirovih masti opadao sa porastom temperature sušenja, a sličan trend je uočen je i kod sadržaja sirovih proteina. Autori Lima i saradnici (2022) su takođe ustanovili smanjenje sadržaja sirovih masti sa povećanjem temperature sušenja, gde se sadržaj sirovih masti kretao u rasponu od 8,1% do 6,5% (na suvu materiju). Najniži sadržaj sirovih proteina uočen je kod uzorka TF koji se nije statistički značajno razlikovao od uzorka T90 (4,28% i 4,20%, respektivno). Najviši sadržaj sirovih proteina je bio u uzorcima TRT i TFD u iznosima od 5,42% i 5,21%, respektivno (p>0,05). Sadržaj proteina u uzorku TRT je bio niži u odnosu na rezultate Moulick i saradnici (2023) (7,92% na suvu materiju) u osušenim rizomima kurkume na sobnoj temperaturi i Madhusankha i saradnici (2019) (8,7-9,64% na suvu materiju). Autori Parmar i saradnici (2023) i Lima i saradnici (2022) su takođe ustanovili da se povećanjem temperature sušenja snižava sadržaj proteina u tretiranim uzorcima.

5.2. Sastav masnih kiselina u uzorcima korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja

Da bi se procenio uticaj različitih postupaka sušenja na sastav masnih kiselina u korenu celera, analizirani su sveži (kontrolni) uzorci, kao i uzorci koji su osušeni na sobnoj temperaturi i pri temperaturama od 60 °C i 90 °C, kao i oni podvrgnuti liofilizaciji. Analizom su identifikovane ukupno 31 masna kiselina, uključujući zasićene masne kiseline (SFA), mononezasićene (MUFA) i polinezasićene (PUFA) masne kiseline (tabela 29). Dominantne masne kiseline bile su linolna (C18:2 c+t), palmitinska (C16:0), stearinska (C18:0), α-linolenska (C18:3 n3) i arahidinska (C20:0), a čije su koncentracije značajno zavisile od primenjenog postupka sušenja. Kod svežeg uzorka udeo zasićenih masnih kiselina iznosio je 41,93%, mononezasićenih masnih kiselina 7,38% i polinezasićenih kiselina 50,68% pri čemu

su linolna (43,01%) i palmitinska kiselina (18,50%) bile dominantne. Linolna kiselina bila je dominantna u korenu celera i prema istraživanju Mitrović i saradnici (2018), u koncentraciji od 31,03%. S druge strane, autori Godlewska i saradnici (2020) su prijavili da je palmitolinolenska kiselina dominantna u korenu celera sa udelom od 43,46-53,90%, u zavisnosti od načina uzgoja. Takođe, palmitinska kiselina u istraživanjima Mitrović i saradnici (2018) i Godlewska i saradnici (2020) je bila druga masna kiselina po sadržaju, kao i u ovoj disertaciji, sa prijavljenim vrednostima od 9,60% i 16,51-25,69%, respektivno.

Sušenjem na sobnoj temperaturi značajno se promenio sastav masnih kiselina, i to značajnim porastom udela zasićenih masnih kiselina (57,43%). Na ovakvu promenu mogla je uticati oksidacija polinezasićenih masnih kiselina tokom dužeg izlaganja uzoraka kiseoniku, kao i zbog moguće degradacije viših masnih kiselina uz nastanak kraćih zasićenih masnih kiselina. U uzorku CRT sadržaj linolne i palmitinske kiseline se smanjio skoro 3-4 puta u odnosu na kontrolni, dok se sadržaj arahidinske kiseline povećao oko 4 puta (44,05%) i njezin sadržaj je bio najveći u uzorku CRT. S druge strane, sušenjem uzoraka na 60 °C i 90 °C, kao i liofilizacijom, došlo je do značajnog povećanja sadržaja polinezasićenih masnih kiselina, a koji su iznosili 72,75%, 70,68% i 74,16%, respektivno. U pomenutim uzorcima, linolna kiselina je bila najdominantnija, čija se koncentracija kretala u opsegu 61,60-65,09%, dok je sadržaj palmitinske kiseline bio nešto niži u odnosu na kontrolni uzorak (16,64-17,68%), a oko 3 puta viši u odnosu na uzorak CRT. Slično, autori Ninčević Grassino i saradnici (2025) su zabeležili značajno povećanje sadržaja linolne kiseline u pulpi bundeve osušenoj na 50-60 °C.

Tabela 29. Sastav masnih kiselina u uzorcima celera pre i nakon sušenja

Masna kiselina	**Uzorci**				
	CF	**CRT**	**C60**	**C90**	**CFD**
Maslačna (buterna), **C4:0**	0,12±0,02^{a}	ND	ND	ND	ND
Kapronska, **C6:0**	0,13±0,02^{a}	ND	0,04±0,00^{a,b}	0,02±0,03^{b}	0,02±0,02^{b}
Kaprilna, **C8:0**	0,21±0,03a	0,23±0,01^{a}	0,04±0,00^{b}	0,03±0,00^{b}	0,06±0,02^{b}
Kaprinska, **C10:0**	0,56±0,12^{c}	1,31±0,01^{a}	0,22±0,02^{d}	0,92±0,12^{b}	0,05±0,03^{d}
Undecilinska, **C11:0**	0,35±0,01^{a}	0,19±0,01^{b}	0,06±0,05^{c}	0,02±0,03^{c}	0,04±0,01^{c}
Laurinska, **C12:0**	0,48±0,00^{a}	0,47±0,06^{a}	0,11±0,00^{b}	0,10±0,07^{b}	0,09±0,03^{b}
Tridecilinska, **C13:0**	0,17±0,01^{b}	0,33±0,06^{a}	0,04±0,00^{c}	0,04±0,02^{c}	0,05±0,03^{b,c}
Miristinska, **C14:0**	0,67±0,01^{a}	0,70±0,01^{a}	0,30±0,01^{b}	0,26±0,02^{b}	0,22±0,04^{b}
Miristoleinska, **C14:1**	0,19±0,01^{a}	0,14±0,01^{a}	0,07±0,02^{b}	0,06±0,01^{b}	0,14±0,01^{a}
Pentadecilinska, **C15:0**	1,62±0,06^{a}	0,61±0,13^{d}	1,27±0,02^{b,c}	1,35±0,00^{b}	1,05±0,01^{c}
cis-10-pentadekenska, **C15:1**	0,49±0,04^{a}	0,40±0,14^{a}	0,28±0,12^{a}	0,39±0,01^{a}	0,20±0,00^{a}
Palmitinska, **C16:0**	18,50±0,17^{a}	5,71±0,01^{d}	16,64±0,05^{c}	17,23±0,12^{b,c}	17,68±0,30^{b}
Palmitoleinska, **C16:1**	0,35±0,25^{a,b}	0,91±0,24^{a}	0,29±0,01^{b}	0,29±0,00^{a,b}	0,24±0,04^{b}
Margarinska, **C17:0**	0,64±0,02^{b}	0,23±0,02^{c}	0,66±0,02^{b}	0,90±0,01^{a}	0,71±0,06^{b}
cis-10-heptadekenska, **C17:1**	0,89±0,01^{a}	0,97±0,06^{a}	0,11±0,02^{b}	0,15±0,03^{b}	0,06±0,04^{b}
Stearinska, **C18:0**	4,34±0,09^{a}	3,60±0,13^{b}	2,15±0,01^{c}	1,81±0,00^{d}	1,61±0,06^{d}
Oleinska, **C18:1 c+t**	1,55±0,06^{b}	3,12±0,34^{a}	0,75±0,02^{c}	0,75±0,02^{c}	0,64±0,03^{c}
Linolna, **C18:2 c+t**	43,01±0,35^{c}	12,29±0,43^{d}	64,62±0,03^{a}	61,60±0,05^{b}	65,09±0,83^{a}

γ-linolenska, **C18:3 n6**	0,84±0,02^{a}	1,28±0,80^{a}	0,44±0,01^{a}	0,71±0,02^{a}	0,13±0,00^{a}
α-linolenska, **C18:3 n3**	2,08±0,17^{c}	2,41±0,01^{c}	5,05±0,01^{a}	4,58±0,00^{b}	4,69±0,08^{b}
Arahidinska, **C20:0**	12,86±0,14^{b}	44,05±2,30^{a}	1,85±0,01^{c}	2,13±0,04^{c}	1,31±0,15^{c}
cis-11-eikozenoinska (gondoinska), **C20:1**	1,15±0,02^{b}	8,41±0,66^{a}	ND	ND	ND
cis-11,14-eikozadinoinska, **C20:2**	ND^{d}	0,79±0,03^{a}	0,34±0,01^{b}	0,20±0,01^{c}	0,38±0,03^{b}
Dihomo-γ-linolenska kiselina (DGA) **C20:3 n6** + heneikozanonska **C21:0**	ND	ND	ND	ND	0,22±0,00^{b}
Arahidonska, **C20:4**	ND	1,23±0,24^{b}	ND	ND	0,07±0,09a
Eikozapentaenoinska **C20:5 (EPA)** + behenska **C22:0**	1,71±0,02^{a}	1,15±0,11^{c}	1,31±0,02^{b,c}	1,40±0,01^{b,c}	1,59±0,12^{a,b}
Eruka, **C22:1**	2,77±1,33^{a}	2,48±0,15^{a}	0,71±0,11^{a}	1,07±0,24^{a}	0,49±0,13^{a}
cis-13,16-dokozadinoinska, **C22:2**	ND	5,79±2,24^{a}	ND^{b}	0,70±0,00^{b}	0,42±0,03^{b}
Trikozilna, **C23:0**	ND	ND	0,65±0,02^{c}	0,75±0,02^{b}	0,86±0,01^{a}
Lignocerinska, **C24:0**	1,28±0,04^{a}	ND	1,08±0,01^{a}	1,15±0,00^{a}	1,34±0,15^{a}
Dokozaheksaenoinska kiselina (DHA) (cervonska) **C22:6** + nervonska **C24:1**	3,04±0,04^{a}	2,54±0,11^{a}	0,98±0,24^{c}	1,48±0,07^{b,c}	1,59±0,11^{b}
Total SFA	41,93±0,64^{b}	57,43±2,23^{a}	25,11±0,11^{c}	26,71±0,08^{c}	25,10±0,36^{c}
Total MUFA	7,38±1,17^{b}	16,43±0,23^{a}	2,20±0,05^{c}	2,71±0,27^{c}	1,17±0,24^{c}
Total PUFA	50,68±0,52^{b}	26,25±2,04^{c}	72,75±0,25^{a}	70,68±0,05^{a}	74,16±0,85^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). SFA – zasićene masne kiseline, MUFA – mononezasićene masne kiseline, PUFA – polinezasićene masne kiseline, ND – nije detektovano.

Takođe u uzorcima C60, C90 i CFD došlo je i do značajnog povećanja sadržaja α-linolenske kiseline i to sa 2,08% u kontrolnom uzorku na više od 4,58%, uz istovremeno smanjenje sadržaja oleinske kiseline sa 1,55% na 0,64-0,75%.

Generalno, utvrđeno je da se sušenjem značajno menja sastav masnih kiselina. Razlike u sadržaju masnih kiselina u ispitivanim uzorcima mogu se uglavnom pripisati njihovoj osobini da su podložne oksidaciji i termičkoj degradaciji. Prema ranijim istraživanjima, razgradnja lipida uključuje određene hemijske reakcije kao što su oksidacija, polimerizacija i kondenzacija, a stabilnost masnih kiselina zavisi od različitih faktora, uključujući sastav masnih kiselina, prisustvo nekih drugih jedinjenja u tragovima i uslove okoline. Oksidacija je jedna od najvažnijih reakcija kroz koje masti prolaze i takođe je ubrzana visokim temperaturama. Kombinacijom prethodnih reakcija dolazi do stvaranja različitih jedinjenja sa manjom molekulskom masom, npr. isparljivih jedinjenja kao što su aldehidi, ketoni, ugljovodonici itd. Uzimajući u obzir gore navedene faktore i dobijene rezultate, pretpostavlja se da svi gore navedeni faktori utiču na sastav i sadržaj masnih kiselina (Ninčević Grassino i sar., 2025). Linolna i linolenska kiselina kao PUFA, koje takođe imaju dvostruke veze, nisu osetljive na razgradnju kiseonikom i toplotom, što rezultuje njihovim najvišim sadržajem u osušenim uzorcima C60, C90 i CFD. Matriks uzorka takođe može uticati na stabilnost masnih kiselina tokom sušenja. Na primer, ako se masne kiseline kombinuju sa reaktivnim komponentama matriksa na visokim temperaturama, to može podstaći hidrolizu ili sekundarne reakcije oksidacije, što zauzvrat dovodi do njihovog gubitka (Ninčević Grassino i sar., 2025).

Sastav masnih kiselina u korenu peršuna, pre i nakon sušenja, prikazan je u tabeli 30. Sadržaj zasićenih masnih kiselina bio je najviši u kontrolnom uzorku PF i iznosio je 34,39%. Nakon sušenja, sadržaj ovih masnih kiselina je značajno smanjen u svim tretiranim uzorcima, naročito kod liofilizovanog uzorka PFD. Najdominantnija zasićena masna kiselina u korenu peršuna (PF) bila je palmitinska kiselina, čiji je sadržaj opao sa 21,61% u kontrolnom uzorku na samo 1,44% kod uzorka PFD (p<0,05). Sadržaj palmitinske kiseline u uzorku PF bio je u skladu sa literaturnim podacima koji su se kretali u opsegu od 20,66% do 26,5% (Petropoulos i sar., 2022), dok je sadržaj stearinske kiseline bio viši (1,03-1,85%). Sadržaj lignocerinske kiseline (C24:0) bio je u skladu sa prethodno pomenutim literaturnim navodom.

Sušenjem se i značajno smanjio udeo kratkolančanih i srednjelančanih masnih kiselina, od četiri do četrnaest ugljenikovih atoma (C4:0-C14:0). Sadržaj mononezasićenih masnih kiselina bio je takođe najviši u kontrolnom uzorku i iznosio je 8,99%, a sušenjem njihov sadržaj se značajno redukovao i kretao se u opsegu od 3,29% kod PFD uzorka do 3,71% kod P60. Najzastupljenija mononezasićena masna kiselina, među osušenim uzorcima, bila je oleinska kiselina (C18:1), čiji je sadržaj opao sa 2,79% u kontrolnom uzorku na oko 1,87-2,07% u osušenim uzorcima. Sadržaj ove kiseline u uzorku PF bio je niži u odnosu na pregledane literaturne podatke (Petropoulos i sar., 2022) (5,57-10,43%). S druge strane, za razliku od SFA i MUFA, sadržaj polinezasićenih masnih kiselina značajno se povećao nakon sušenja – sa 60,42% u kontrolnom uzorku na 91,15% u liofilizovanom uzorku (p<0,05). Najdominantnija polinezasićena masna kiselina bila je linolna kiselina (C18:2), čiji je udeo porastao sa 27,16% na nešto više od 75% kod osušenih uzoraka. Sadržaj ove kiseline u kontrolnom uzroku bio je niži u odnosu na literaturne podatke (47,9-57,10%) (Petropoulos i sar., 2022). Povećanje sadržaja linolne kiseline tokom različitih postupaka sušenja prijavili su i autori Babiker i saradnici (2021), koji su proučavali uticaj različitih postupaka sušenja na sadržaj masnih kiselina u pulpi zrelih i nezrelih plodova avokada, a moguć uzrok ove pojave objašnjavaju termičkom razgradnjom ćelijskog matriksa i degradacijom konjugovanih lipida i fosfolipida, što dovodi do oslobađanja slobodnog oblika linolne kiseline. Takođe, sadržaj α-linolenske kiseline (C18:3 n-3) povećao se sa 2,80% na 9,55% kod uzorka PFD. Generalno, sadržaj SFA, MUFA i PUFA u uzorku PF bio je u skladu sa radom Petropoulos i saradnika (2022) gde su se njihove vrednosti kretale od 25,70-35,57%; 6,03-10,90% i 56,7-66,5%, respektivno.

Tabela 30. Sastav masnih kiselina u uzorcima peršuna pre i nakon sušenja

Masna kiselina	**Uzorci**				
	PF	**PRT**	**P60**	**P90**	**PFD**
Maslačna (buterna), **C4:0**	ND	ND	ND	ND	ND
Kapronska, **C6:0**	ND	ND	ND	ND	ND
Kaprilna, **C8:0**	0,28±0,01^{a}	0,06±0,00^{b}	0,06±0,01^{b}	ND	0,03±0,00^{b,c}
Kaprinska, **C10:0**	0,32±0,01^{a}	0,05±0,01^{b,c}	0,06±0,03^{b}	ND	0,06±0,00^{b}
Undecilinska, **C11:0**	0,49±0,21^{a}	0,06±0,01^{b}	0,07±0,00^{b}	0,09±0,01^{b}	0,06±0,00^{b}
Laurinska, **C12:0**	0,89±0,20^{a}	0,11±0,00^{b}	0,09±0,01^{b}	0,05±0,00^{b}	0,06±0,00^{b}
Tridecilinska, **C13:0**	0,42±0,00^{a}	0,04±0,00^{b}	0,06±0,00^{b}	0,09±0,07^{b}	0,03±0,01^{b}
Miristinska, **C14:0**	1,03±0,08^{a}	0,26±0,00^{b}	0,24±0,02^{b}	0,17±0,05^{b}	0,20±0,01^{b}
Miristoleinska, **C14:1**	0,05±0,08^{a}	ND	0,07±0,02^{a}	0,05±0,01^{a}	0,03±0,00^{a}
Pentadecilinska, **C15:0**	1,07±0,09^{a}	0,74±0,07^{b}	0,80±0,01^{b}	0,81±0,06^{b}	0,79±0,00^{b}
cis-10-pentadekenska, **C15:1**	0,54±0,27^{a}	0,17±0,04^{a}	0,21±0,02^{a}	0,18±0,01^{a}	0,12±0,02^{a}
Palmitinska, **C16:0**	21,61±0,06^{a}	3,49±0,01^{b}	1,95±0,01^{c}	2,05±0,06^{c}	1,44±0,01^{d}
Palmitoleinska, **C16:1**	1,28±0,09^{a}	0,54±0,43^{a}	0,63±0,02^{a}	0,67±0,02^{a}	0,60±0,02^{a}
Margarinska, **C17:0**	0,70±0,11^{a}	0,27±0,01^{b}	0,25±0,00^{b}	0,23±0,00^{b}	0,28±0,01^{b}
cis-10-heptadekenska, **C17:1**	0,40±0,01^{a}	0,08±0,00^{a}	0,08±0,01^{a}	0,21±0,19^{a}	0,08±0,00^{a}
Stearinska, **C18:0**	2,38±0,02^{a}	1,01±0,06^{b}	0,88±0,01^{c}	0,85±0,00^{c}	0,82±0,03^{c}
Oleinska, **C18:1 c+t**	2,79±0,02^{a}	2,07±0,02^{b}	1,97±0,00^{c}	1,87±0,00^{d}	2,05±0,01^{b}
Linolna, **C18:2 c+t**	27,16±0,05^{c}	75,16±0,06^{b}	76,93±0,13^{a}	77,27±0,34^{a}	77,50±0,39^{a}

γ-linolenska, **C18:3 n6**	16,52±0,21^{a}	0,84±0,00^{b}	0,21±0,02^{c}	0,21±0,01^{c}	0,80±0,01^{b}
α-linolenska, **C18:3 n3**	2,80±0,08^{d}	8,12±0,02^{c}	8,87±0,01^{b}	9,37±0,05^{a}	9,55±0,07^{a}
Arahidinska, **C20:0**	ND	0,48±0,01^{a}	0,43±0,01^{b}	0,42±0,01^{b,c}	0,40±0,00^{c}
cis-11-eikozenoinska (gondoinska), **C20:1**	ND	ND	ND	ND	0,14±0,01^{a}
cis-11,14-eikozadinoinska, **C20:2**	2,68±0,04^{a}	0,31±0,05^{b}	0,37±0,03^{b}	0,43±0,08^{b}	0,41±0,02^{b}
Dihomo-γ-linolenska kiselina (DGA) **C20:3 n6 +** heneikozanonska **C21:0**	ND	0,56±0,02^{a}	0,52±0,02^{a}	0,50±0,00^{a}	0,29±0,01^{b}
Arahidonska, **C20:4**	2,46±0,01^{a}	0,45±0,02^{b}	0,23±0,00^{c}	0,19±0,01^{d}	0,15±0,00^{d}
Eikozapentaenoinska **C20:5** (EPA) + behenska **C22:0**	2,37±0,11^{a}	1,34±0,00^{b}	1,38±0,01^{b}	1,15±0,02^{c}	1,44±0,00^{b}
Eruka, **C22:1**	3,91±1,19^{a}	0,69±0,01^{b}	0,75±0,01^{b}	0,70±0,02^{b}	0,26±0,01^{b}
cis-13,16-dokozadinoinska, **C22:2**	ND	0,15±0,21^{a}	ND	ND	0,24±0,13^{a}
Trikozilna, **C23:0**	3,06±0,09^{a}	0,47±0,01^{c}	0,61±0,02^{b,c}	0,47±0,00^{c}	0,69±0,02^{b}
Lignocerinska, **C24:0**	2,15±0,00^{a}	1,15±0,03^{b}	1,11±0,05b	1,13±0,13^{b}	1,06±0,04^{b}
Dokozaheksaenoinska kiselina (DHA) (cervonska) **C22:6** + nervonska **C24:1**	6,43±0,04^{a}	1,33±0,12^{b}	1,17±0,13^{b}	1,24±0,44^{b}	0,77±0,02^{b}
Total SFA	34,39±0,20^{a}	8,18±0,00^{b}	6,61±0,02^{c}	6,36±0,11^{c}	5,92±0,05^{d}
Total MUFA	8,99±0,92^{a}	3,56±0,40^{b}	3,71±0,02^{b}	3,68±0,11^{b}	3,29±0,01^{b}
Total PUFA	60,42±0,14^{d}	88,26±0,39^{c}	89,69±0,04^{b}	90,34±0,10^{a,b}	91,15±0,56^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu ($p<0,05$). SFA – zasićene masne kiseline, MUFA – mononezasićene masne kiseline, PUFA – polinezasićene masne kiseline, ND – nije detektovano.

Sadržaji masnih kiselina u kontrolnom uzorku rizoma kurkume i uzorcima rizoma kurkume nakon sušenja prikazani su u tabeli 31. Sadržaj zasićenih masnih kiselina bio je najviši u uzorku TRT (26,64%) i nije se statistički značajno razlikovao od kontrolnog uzorka TF gde je udeo zasićenih masnih kiselina iznosio 25,10% (p>0,05). Nasuprot njima, sadržaj zasićenih masnih kiselina bio je najniži u uzorku T90 (13,82%). U kontrolnom uzorku TF najdominantnija zasićena masna kiselina bila je palmitinska kiselina (C16:0) u iznosu od 10,66%, a čiji se sadržaj u uzorku TRT neznatno povećao (p>0,05), dok se u ostalim uzorcima značajno smanjio i kretao se u opsegu od 0,49-0,50%. Od zasićenih masnih kiselina po sadržaju u TF uzorku je sledela arahidinska kiselina (5,74%), čiji sadržaj se u tretiranim uzorcima smanjio više od 2 puta.

Sadržaj pentadecilinske kiseline (C15:0) bio je skoro identičan u svim uzorcima (p>0,05). S druge strane, sadržaj mononezasićenih masnih kiselina bio je najniži u kontrolnom uzorku (48,10%), a najviši u liofilizovanom uzorku TFD (56,58%). Zanimljivo je da je od mononezasićenih masnih kiselina u svim uzorcima bila dominantna *cis*-10-heptadekenska kiselina (C17:1), čiji je sadržaj bio najniži u kontrolnom uzorku (15,17%) (p<0,05), a najviši u uzorcima T60 i T90 (29,54% i 30,91%, respektivno) (p>0,05). Ovaj podatak je bio u skladu sa rezultatima istraživanja Punvichai i saradnika (2024), koji su prijavili da je C17:1 masna kiselina bila najdominantnija u ekstraktu kurkume dobijenom ekstrakcijom sa superkritičnim ugljen-dioksidom. Takođe, isti autori navode da ova masna kiselina nije detektovana u ekstraktu (ulju) soje, kokosa i rižinih mekinja. Autori Paul i saradnici (2011) navode da je u njihovim uzorcima kurkume oleinska kiselina (C18:1) bila najdominantnija (56,24-58,88%). *Cis*-10-pentadekenska kiselina (C15:1) je bila sledeća mononezasićena masna kiselina po sadržaju u uzorku TF (13,57%), a čiji se sadržaj značajno redukovao u uzorcima TRT, T60 i T90 (2,52-2,69%), dok je u uzorku TFD njezin sadržaj ostao skoro nepromenjen (13,97%). Isto tako, od mononezasićenih masnih kiselina, zabeležen je i veći sadržaj palmitoleinske kiseline (C16:1) čiji je sadržaj bio najniži u uzorku TFD (8,10%), a najviši u uzorku TRT (11,25%) bez statistički značajne razlike u odnosu na vrednosti kod uzoraka T60 i T90 (p>0,05). Sadržaj gondoinske kiseline (C20:1) bio je u skladu sa rezultatima Paul i saradnika (2011), a koji je bio u opsegu od 2,72-3,25%.

Sadržaj polinezasićenih masnih kiselina bio je najviši u uzorku T90 i iznosio je 27,85% i nije se statistički značajno razlikovao od uzoraka TF, T60 i TFD (p>0,05), dok je statistički najniži bio u uzorku TRT (23,46%) (p<0,05). Od polinezasićenih masnih kiselina bila je najdominantnija α-linolenska kiselina (C18:3 n3) sa udelom od 7,58% u kontrolnom uzorku i ova vrednost se nije statistički značajno razlikovala u odnosu na TRT uzorak (p>0,05). U uzorcima T60 i T90 zabeležen je niži sadržaj ove kiseline 5,94 i 6,25%, respektivno (p>0,05), dok je najveći gubitak ove kiseline zabeležen u uzorku TFD (4,81%). Sadržaj γ-linolenske kiseline bio je značajno niži od α-linolenske kiseline sa najvišim sadržajem u kontrolnom uzorku (1,34%) i najnižem u liofilizovanom uzorku (0,41%) (p<0,05). Ustanovljena je i značajna količina arahidonske kiseline (C20:4) u svim uzorcima, sa najvećim udelom u kontrolnom uzorku (6,18%) i najmanjim udelom u liofilizovanom uzorku (3,81%). Sadržaj *cis*-11,14-eikozadienske kiseline (C20:2) bio je najviši u uzorku TF (1,40%) i značajno je smanjen u uzorcima TRT i TFD, dok u uzorcima T60 i T90 ova masna kiselina nije zabeležena. Takođe, više temperature sušenja uzrokovale su potpuni gubitak C20:3 n6 + C21:0 (i na sobnoj temperaturi) i C20:5 + C22:0 masnih kiselina. Slično, autori Dong i saradnici (2017) su zabeležili veći sadržaj MUFA u liofilizovanim uzorcima kafe u odnosu na osušene na sobnoj temperaturi i na 50 °C, dok je sadržaj PUFA bio najniži u liofilizovanim uzorcima, te navode da je postupak sušenja na 50 °C idealan za očuvanje polinezasićenih masnih kiselina. Takođe, i autori Hassanzadeh i saradnici (2023) su prijavili značajno više koncentracije MUFA i PUFA u osušenim uzorcima algi na 45 °C u odnosu na one osušene na suncu, dok je sadržaj SFA u uzorcima osušenim na suncu bio viši u odnosu na one osušene na 45°C.

Tabela 31. Sastav masnih kiselina u uzorcima kurkume pre i nakon sušenja

Masna kiselina	Uzorci				
	TF	**TRT**	**T60**	**T90**	**TFD**
Maslačna (buterna), **C4:0**	ND	0,19±0,00^{b}	0,21±0,00^{a}	ND	ND
Kapronska, **C6:0**	ND	0,06±0,08^{a}	0,10±0,01^{a}	ND	0,09±0,00^{a}
Kaprilna, **C8:0**	ND	ND	ND	ND	0,07±0,01^{b}
Kaprinska, **C10:0**	0,13±0,03^{a}	0,14±0,00^{a}	0,12±0,02^{a}	0,23±0,14^{a}	0,20±0,01^{a}
Undecilinska, **C11:0**	1,69±0,01^{a,b}	1,82±0,04^{a}	1,68±0,11^{a,b}	1,45±0,09^{b}	0,85±0,03^{c}
Laurinska, **C12:0**	0,16±0,01^{a}	0,27±0,09^{a}	0,28±0,02^{a}	0,22±0,01^{a}	0,16±0,01^{a}
Tridecilinska, **C13:0**	0,82±0,03^{c}	1,26±0,01^{a}	1,10±0,05^{a,b}	1,08±0,01^{b}	0,59±0,07^{d}
Miristinska, **C14:0**	1,06±0,07^{b}	2,38±0,07^{a}	2,23±0,04^{a}	2,36±0,04^{a}	1,90±0,24^{a}
Miristoleinska, **C14:1**	0,33±0,00^{b}	0,48±0,01^{a,b}	0,47±0,04^{a,b}	0,52±0,03^{a}	0,45±0,07^{a,b}
Pentadecilinska, **C15:0**	3,98±0,04^{a}	4,00±0,48^{a}	3,40±0,50^{a}	3,56±0,39^{a}	3,23±0,03^{a}
cis-10-pentadekenska, **C15:1**	13,57±0,28^{a}	2,52±0,01^{b}	2,68±0,07^{b}	2,69±0,30^{b}	13,97±1,72^{a}
Palmitinska, **C16:0**	10,66±0,13^{a}	11,02±0,20^{a}	0,49±0,04^{b}	0,50±0,00^{b}	0,50±0,01^{b}
Palmitoleinska, **C16:1**	9,94±0,12^{b}	11,25±0,24^{a}	10,22±0,08^{a,b}	10,54±0,34^{a,b}	8,10±0,51^{c}
Margarinska, **C17:0**	0,30±0,01^{e}	0,68±0,04^{d}	5,74±0,06^{a}	1,11±0,01^{c}	4,90±0,05^{b}
cis-10-heptadekenska, **C17:1**	15,17±0,16^{c}	22,63±0,41^{b}	29,54±0,27^{a}	30,91±1,19^{a}	22,91±1,99^{b}
Stearinska, **C18:0**	0,56±0,06^{c}	2,05±0,10^{a}	1,17±0,20^{b}	1,08±0,04^{b}	0,86±0,06^{b,c}
Oleinska., **C18:1 c+t**	3,12±0,05^{d}	6,50±0,14^{b}	4,63±0,12^{c}	4,89±0,04^{c}	7,02±0,03^{a}
Linolna, **C18:2 c+t**	4,92±0,21^{b}	5,30±0,04^{b}	12,06±0,27^{a}	11,81±0,15^{a}	12,29±0,42^{a}

γ-linolenska, **C18:3 n6**	1,34±0,00^{a}	0,95±0,01^{b}	0,80±0,00^{b,c}	0,69±0,10^{c}	0,41±0,00^{d}
α-linolenska, **C18:3 n3**	7,58±0,22^{a}	7,67±0,09^{a}	5,94±0,01^{b}	6,25±0,57^{b}	4,81±0,09^{c}
Arahidinska, **C20:0**	5,74±0,16^{a}	2,77±0,02^{b}	2,15±0,26^{c}	2,23±0,03^{b,c}	2,70±0,08^{b,c}
cis-11-eikozenoinska (gondoinska), **C20:1**	3,29±0,01^{b}	3,30±0,00^{b}	3,49±0,13^{a,b}	3,93±0,14^{a}	2,62±0,16^{c}
cis-11,14-eikozadinoinska, **C20:2**	1,40±0,03^{a}	0,29±0,03^{c}	ND	ND	0,56±0,06^{b}
Dihomo-γ-linolenska kiselina (DGA) **C20:3 n6** + heneikozanonska **C21:0**	0,84±0,04^{a}	ND	ND	ND	ND
Arahidonska, **C20:4**	6,18±0,01^{a}	5,24±0,01^{b}	4,49±0,02^{c}	4,47±0,04^{c}	3,81±0,32^{d}
Eikozapentaenoinska **C20:5** (EPA) + behenska **C22:0**	1,08±0,47^{a}	1,12±0,35^{a}	ND	ND	0,79±0,07^{a,b}
Eruka, **C22:1**	2,67±0,08^{b,c}	3,23±0,02^{a}	2,71±0,20^{b}	2,30±0,05^{c}	1,50±0,05^{d}
cis-13,16-dokozadinoinska, **C22:2**	ND	ND	2,37±0,01^{a}	1,99±0,01^{b}	1,91±0,08^{b}
Trikozilna, **C23:0**	ND	ND	ND	ND	ND
Lignocerinska, **C24:0**	ND	ND	ND	ND	ND
Dokozaheksaenoinska kiselina (DHA) (cervonska) **C22:6** + nervonska **C24:1**	3,46±0,04^{a}	2,88±0,05^{a,b}	1,93±0,32^{c,d}	2,64±0,15^{b,c}	1,81±0,23^{d}
Total SFA	25,10±0,41^{a}	26,64±0,45^{a}	18,67±0,15^{b}	13,82±0,74^{d}	16,05±0,40^{c}
Total MUFA	48,10±0,27^{a}	49,90±0,82^{a}	53,74±0,42^{a}	55,78±2,08^{a}	56,58±4,45^{a}
Total PUFA	26,80±0,14^{a}	23,46±0,37^{b}	27,58±0,57^{a}	27,85±0,79^{a}	26,39±0,31^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). SFA – zasićene masne kiseline, MUFA – mononezasićene masne kiseline, PUFA – polinezasićene masne kiseline, ND – nije detektovano.

5.3. Analiza boje svežih i osušenih uzoraka

Iz podataka prikazanih u tabeli 32, vidljivo je da je kod svih tretiranih uzoraka celera došlo do porasta vrednosti za parametar L*, odnosno porasta svetline uzorka. Najviše vrednosti za parametar L* uočene su kod liofilizovanog uzorka celera što je u skladu sa istraživanjem Kręcisz i saradnici (2023). Što se tiče parametra a*, najveći porast vrednosti ovog parametra zabeležen je kod uzorka CRT (7,37), a potom kod uzorka C60 (1,06). Neznatna porast zabeležena je kod uzorka C90, dok je s druge strane, kod uzorka CFD zabeležena značajno niža vrednost ovog parametra u odnosu na kontrolni uzorak. Povećanje vrednosti parametra a* sugeriše na povećanje udela crvene boje u uzorcima, za šta bi se moglo reći da negativno utiče na kvalitet uzorka, menjajući njegov prirodni izgled, dok bi manje vrednosti ovog parametra ili bar približne kontrolnom uzorku, bile poželjne sa stanovišta očuvanja boje. Što se tiče parametra b*, kod svih uzoraka je primećen porast vrednosti u odnosu na kontrolni uzorak. Najveći porast vrednosti ovog parametra uočen je takođe kod uzorka CRT, a potom kod uzoraka CFD, C60 i C90, redom (p<0,05). Povećanje vrednosti parametra b* u uzorcima upućuje na činjenicu da sušenjem u većoj ili manjoj meri povećavao udeo žute boje, što se može protumačiti u negativnom kontekstu sa aspekta kvaliteta gotovog proizvoda, a s obzirom na prirodnu boju uzorka. Kręcisz i saradnici (2023) i Marić i saradnici (2020) su takođe prijavili povećanje vrednosti b*, kao i povećanje vrednosti za parametar a* kod konvektivno osušenih i liofilizovanih uzoraka korena celera.

Tabela 32. Parametri boje korena celera pre i nakon sušenja

Uzorak	L*	a*	b*
CF	57,47±3,70^{a}	-0,41±0,02^{b}	15,08±0,35^{a}
CRT	59,04±1,50^{a}	7,37±0,25^{d}	28,80±1,54^{d}
C60	67,93±3,06^{b}	1,06±0,04^{c}	21,75±0,92^{c}
C90	76,66±7,09^{c}	-0,40±0,04^{b}	18,12±1,39^{b}
CFD	89,77±1,76^{d}	-2,41±0,14^{a}	22,03±1,32^{c}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n≥8). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05).

Vrednosti parametara boje L*, a* i b* za uzorke peršuna prikazani su u tabeli 33. Jedino je kod uzorka PRT primećen pad vrednosti parametra L* u odnosu na kontrolni uzorak. Vrednosti za ovaj parametar kod uzoraka PF, P60 i P90 su bile veoma slične i nisu se statistički značajno razlikovale od (p>0,05). S druge strane, kod uzorka PFD uočen je znatan porast vrednosti ovog parametra (89,22) u odnosu na kontrolni uzorak (p<0,05). Povećanje vrednosti parametra L* kod uzorka PFD je u skladu sa rezultatima Marić i saradnika (2020). Kod liofilizovanog uzorka zabeležena je najniža vrednost parametara boje a* i b* (-2,02 i 20,33, respektivno) koje su bile najpribližnije kontrolnom uzorku sa statistički značajnom razlikom (p<0,05), dok je kod uzorka PRT zabležen najveći rast vrednosti parametara a* i b* (7,22 i 29,56, respektivno), što se kao kod celera može opisati kao negativna pojava. Kod uzoraka P60 i P90 vrednosti za parametar a* iznosile su 0,29 i 0,73, sa statistički značajnom razlikom, respektivno, a vrednosti za parametar b* su bile slične (21,32 i 22,07), bez statistički značajne razlike. Smanjenje vrednosti a* i povećanje vrednosti b* u PFD uzorku takođe je bilo u skladu sa istraživanjem Marić i saradnika (2020).

Tabela 33. Parametri boje korena peršuna pre i nakon sušenja

Uzorak	L*	a*	b*
PF	63,08±2,96^{b}	−1,34±0,12^{b}	15,54±1,30^{a}
PRT	56,28±2,32^{a}	7,22±0,21^{e}	29,56±2,05^{c}
P60	63,90±3,67^{b}	0,29±0,03^{c}	21,32±1,60^{b}
P90	63,78±1,61^{b}	0,73±0,06^{d}	22,07±0,75^{b}
PFD	89,22±1,64^{c}	−2,02±0,46^{a}	20,33±3,76^{b}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n≥8). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05).

Vrednosti parametara boje L*, a* i b* za uzorke kurkume prikazani su u tabeli 34. Slično kao i kod prethodna dva uzorka, najveći porast svetline, u odnosu na kontrolni uzorak (58,41) zabeležen je u uzorku TFD (62,75), koji se statistički značajno razlikovao od ostalih uzoraka. Ostali uzorci imali su prilično ujednačene vrednosti za parametar L* i iznosile su oko 53. Isti trend je primećen i kod parametara a* i b*, gde je liofilizovani uzorak kurkume imao najviše vrednosti za ove parametre (27,49 i 65,69, respektivno) u odnosu na sve ostale uzorke.

Vrednosti za parametar a* za sveže rizome kurkume su bile u skladu sa rezultatima Pal i saradnika (2020) (20,27-22,73), dok su isti autori prijavili niže vrednosti za parametre L* (48,69-52,45) i b* (43,59-45,65). Vrednosti parametra a* za uzorke TRT, T60 i T90 se nisu statistički značajno razlikovale, kao ni vrednosti za parametar b* kod uzoraka T60 i T90. Slično, autori Saha i saradnici (2022) su prijavili da se tokom sušenja rizoma kurkume na suncu i konvektivnog sušenja u sušnici na 50 °C vrednosti za parametre L*, a* i b* kod svih uzoraka snizili. U radu Llano i saradnici (2022) su prijavili nešto niže vrednosti za parametar a* kod uzoraka osušenih na 50 °C u odnosu na uzorke osušene tradicionalnom metodom na suncu, ali bez statistički značajne razlike. Takođe, isti autori navode više vrednosti za parametar b* kod konvektivno osušenih uzoraka. Autori Komonsing i saradnici (2022) prijavili su slične vrednosti za parametre L*, a* i b* za konvektivno osušene rizome kurkume bez prisustva svetlosti na 40, 50, 60, 70 i 80 °C. Kao u ovom istraživanju, autori su prijavili pad vrednosti parametara L*, a* i b* kod svih osušenih uzoraka u odnosu na kontrolni. Vrednosti za parametre L*, a* i b* kod osušenih uzoraka nisu se razlikovale u velikoj meri. Autori Lima i saradnici (2022) izvestili su da su vrednosti parametara L*, a* i b* bile najviše kod uzoraka osušenih na 45 °C u odnosu na uzorke osušene na 55, 65 i 75 °C. Prema pomenutom istraživanju, kod uzoraka osušenih na 65 °C vrednosti parametara L*, a* i b* su bile niže u odnosu na uzorke osušene na 55 °C, a više u odnosu na 75 °C. Više vrednosti parametra L* su poželjnije u slučaju sušenih prehrambenih proizvoda. Liofilizovani uzorci rizoma kurkume prema autorima Ray i saradnici (2022) takođe su imali najvišu vrednost za L* (58,74) i b* (29,71) u poređenju sa uzorcima osušenim drugim postupcima sušenja (konvektivno sušenje, sušenje na sobnoj temperaturi), što je ukazivalo na to da se karakteristike boje bolje zadržavaju liofilizacijom.

Tabela 34. Parametri boje rizoma kurkume pre i nakon sušenja

Uzorak	L*	a*	b*
TF	58,41±2,92^{b}	25,60±2,23^{b}	60,82±4,33^{c}
TRT	53,14±2,20^{a}	20,58±1,60^{a}	47,79±3,42^{a}
T60	53,25±3,43^{a}	21,81±1,04^{a}	56,77±3,79^{b}
T90	53,25±2,89^{a}	21,82±1,73^{a}	54,48±1,30^{b}
TFD	62,75±1,88^{c}	27,49±1,33^{c}	65,69±2,14^{d}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n≥8). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05).

Iz navedenih podataka, može se zaključiti da je kod svih liofilizovanih uzoraka primećena statistički značajna razlika između parametara svetline (L*) i hromatičnosti (a* i b*) u poređenju sa svežim uzorkom. Štaviše, evidentno je da je kod CRT i PRT uzoraka došlo do najvećeg povećanja vrednosti parametara a* i b*, dok je kod TRT uzorka došlo do smanjenja vrednosti ovih parametara. Ovakve razlike između parametara boje i svetline liofilizovanih uzoraka i uzoraka sušenih na sobnoj temperaturi mogu se objasniti činjenicom da tokom liofilizacije dolazi do sublimacije kristala leda i manja je izloženost sirovine kiseoniku. Zbog niskih temperatura dolazi do deaktivacije polifenol oksidaze, što sprečava reakcije enzimskog tamnjenja (Shams i sar., 2022).

5.4. Mineralni sastav uzoraka korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume pre i nakon različitih postupaka sušenja

Analiza mineralnog sastava korena celera pre i nakon sušenja prikazana je u tabeli 35. Analizom je ustanovljeno da je sadržaj pojedinih makro- i mikroelemenata značajno varirao od primenjene metode sušenja. Sadržaji natrijuma, kalijuma, gvožđa, hroma, nikla i olova značajno su se smanjili u osušenim uzorcima u odnosu na kontrolni uzorak. Postupkom liofilizacije očuvana je najveća količina kalijuma što je bilo u skladu sa nekim drugim nalazima (Kocaman i sar., 2025). Ova pojava se može objasniti činjenicom da se liofilizacijom voda uklanja putem sublimacije na niskim temperaturama, minimizirajući gubitak minerala. Nasuprot tome, sušenje na višim temperaturama može dovesti do isparavanja određenih jedinjenja i minerala, što doprinosi njihovom nižem sadržaju. Sušenjem na 60 °C i 90 °C se značajno

smanjio sadržaj kalcijuma u odnosu na kontrolni uzorak. Selen i arsen nisu detektovani u ispitivanim uzorcima celera. U uzorku CRT zabeležene su više koncentracije kalcijuma, magnezijuma, cinka, mangana, gvožđa, bakra, fosfora, hroma i kadmijuma u odnosu na ostale tretirane uzorke celera. Sadržaj fosfora u CF, C60, C90 i CFD uzorcima bio je u skladu sa literaturnim podacima (Godlewska i sar., 2020) (531-688 mg/100g_{sm}), dok je u uzorku CRT bio nešto viši. Sadržaj fosfora u svim uzorcima bio je viši u odnosu na istraživanje Weselek i saradnika (330-580 mg/100g_{sm}). Sadržaj kalijuma međutim bio je značajno niži u svim uzorcima u odnosu na istraživanje Godlewska i saradnika (2020) (4593-6894 mg/100g_{sm}) i Weselek i saradnika (2021) (2190-4090 mg/100g_{sm}).

Tabela 35. Mineralni sastav uzoraka celera pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm})

Mineral	Uzorak				
	CF	**CRT**	**C60**	**C90**	**CFD**
Natrijum, Na	282,50±3,00^{a}	11,68±0,01^{c}	60,39±0,66^{b}	62,91±0,25^{b}	11,97±0,22^{c}
Kalijum, K	1155,45±3,08^{a}	67,80±0,56^{c}	71,38±0,14^{c}	60,41±0,21^{d}	216,13±0,34^{b}
Kalcijum, Ca	454,07±2,59^{a}	450,15±0,66^{a}	377,09±2,68^{c}	366,37±2,30^{d}	400,20±0,86^{b}
Magnezijum, Mg	152,53±0,77^{d}	209,01±3,65^{a}	177,91±2,45^{b,c}	172,85±3,06^{c}	182,83±4,49^{b}
Cink, Zn	9,59±0,09^{d}	12,85±0,10^{a}	11,65±0,13^{b}	10,11±0,10^{c}	10,18±0,12^{c}
Selen, Se	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Arsen, As	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Mangan, Mn	3,11±0,02^{b}	3,27±0,03^{a}	2,83±0,03^{c}	2,58±0,05^{d}	2,85±0,03^{c}
Gvožđe, Fe	9,19±0,16^{a}	4,92±0,07^{b}	4,19±0,00^{c}	3,71±0,02^{d}	3,69±0,04^{d}
Bakar, Cu	1,50±0,01^{d}	1,88±0,02^{a}	1,68±0,02^{b}	1,61±0,03^{c}	1,61±0,02^{c}
Fosfor, P	665,36±6,78^{b,c}	782,42±0,69^{a}	686,21±13,99^{b}	651,81±6,85^{c,d}	635,55±3,78^{d}
Hrom, Cr	0,66±0,01^{a}	0,06±0,00^{b}	0,04±0,00^{c}	0,04±0,00^{c}	0,03±0,00^{c}
Kobalt, Co	0,04±0,02^{a}	0,01±0,00^{b}	0,01±0,00^{b}	0,01±0,00^{b}	0,01±0,00^{b}
Nikl, Ni	0,50±0,03^{a}	0,19±0,00^{b}	0,17±0,00^{b}	0,15±0,00^{b}	0,17±0,00^{b}
Kadmijum, Cd	0,14±0,00^{c}	0,18±0,00^{a}	0,17±0,00^{b}	0,13±0,00^{d}	0,13±0,00^{d}
Olovo, Pb	0,55±0,01^{a}	0,16±0,01^{b}	0,12±0,01^{c}	0,14±0,02^{b,c}	0,15±0,01^{b,c}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na 100 grama suve materije uzorka (mg/100g_{sm}).

Takođe, sadržaj kalcijuma u ispitivanim uzorcima bio je niži u odnosu na istraživanje Godlewska i saradnika (2020) (603-701 mg/100g_{sm}), ali viši u odnosu na rezultate Weselek i saradnika (2021) (280-340 mg/100g_{sm}), dok je sadržaj magnezijuma (152,53-209,01 mg/100g_{sm}) bio u skladu sa Godlewska i saradnici (2020) (189-264 mg/100g_{sm}) i Weselek i saradnici (2021) (190-210 mg/100g_{sm}). Sadržaj gvožđa (3,69-4,92 mg/100g_{sm}), mangana (2,58-3,27 mg/100g_{sm}), olova (0,12-0,16 mg/100g_{sm}) i nikla (0,15-0,19 mg/100g_{sm}) u osušenim uzorcima celera bio je niži (za gvožđe i nikl) ili u skladu sa rezultatima Godlewska i saradnika (26,49-45,21

mg/100$g_{sm,}$ 3,09-4,54 mg/100g_{sm}, 0,1-0,33 mg/100g_{sm} i 0,39-1,36 mg/100$g_{sm,}$ respektivno), dok je sadržaj bakra (1,61-1,88 mg/100g_{sm}), cinka (10,11-12,85 mg/100g_{sm}), i kadmijuma (0,13-0,18 mg/100g_{sm}) bio viši u odnosu na pomenuto istraživanje (0,73-0,96 mg/100g_{sm}, 3,8-6,1 mg/100g_{sm}, 0,034-0,076 mg/100g_{sm}).

U odnosu na istraživanje Weselek i saradnika (2021) sadržaj gvožđa, cinka, kadmijuma, kobalta, hroma, olova i selena u osušenim uzorcima bio je nešto viši (2,1-3 mg/100g_{sm}, 2,57-3,12 mg/100g_{sm}, 0,05-0,13 mg/100g_{sm}, <0,002 mg/100g_{sm}, 0,002-0,23 mg/100g_{sm}, 0,006-0,011 mg/100g_{sm} i 0,002-0,003 mg/100g_{sm}, respektivno), dok je sadržaj mangana bio niži (3,64-6,02 mg/100g_{sm}) od vrednosti u tabeli 35. Sadržaj bakra i nikla u osušenim uzorcima bio je u skladu sa pomenutim istraživanjem (1,28-1,74 mg/100g_{sm} i 0,092-0,215 mg/100g_{sm}).

Mineralni sastav korena peršuna pre i nakon sušenja prikazan je u tabeli 36. Iz podataka predstavljenih u tabeli, primećeno je da je sadržaj svih elemenata značajno zavisio od primenjenog postupka sušenja. U svežem (kontrolnom) uzorku, sadržaj svih ispitivanih makro- i mikroelemenata bio je znatno viši u poređenju sa osušenim uzorcima, što ukazuje na negativan uticaj sušenja na očuvanje mineralnih materija. Kalijum je bio najzastupljeniji mineral u korenu peršuna sa koncentracijom od 758,27 mg/100g_{sm} u kontrolnom uzorku, dok je nakon sušenja njegov sadržaj opao u uzorcima PRT, P60, P90 i PFD (169,80, 161,47, 139,18 i 144,11 mg/100g_{sm}, respektivno), gde je najveći gubitak ovog minerala uočen kod uzorka P90, a najmanji kod uzorka PRT. Navedene vrednosti su bile značajno niže od prijavljenih u literaturi: 1814-1977 mg/100g_{sm} (Wszelaczyńska i sar., 2024) i 2306,12 mg/100g_{sm} (Knez i sar., 2022). Sličan trend zabeležen je i kod natrijuma, gde je njegova vrednost opala sa 357,09 mg/100g_{sm} na svega 62,62 mg/100g_{sm} nakon liofilizacije, što predstavlja više od 80% gubitka. Sadržaj natrijuma u uzorku PF bio je nešto viši u odnosu na rezultate Knez i saradnika (2022) (333,33 mg/100g_{sm}). Kod kalcijuma i magnezijuma su takođe zabeleženi statistički značajni gubici (p<0,05), gde je sadržaj kalcijuma opao sa 429,64 mg/100g_{sm} na 282,96 mg/100g_{sm} kod PFD, dok je magnezijum najviše očuvan kod sušenja na sobnoj temperaturi (215,43 mg/100g_{sm}), a najmanje kod P90 (179,01 mg/100g_{sm}). Sadržaj magnezijuma bio je niži u odnosu na literaturne vrednosti prijavljene od strane Wszelaczyńska i saradnika (2024) (386-458 mg/100g_{sm}), dok je u uzorcima P60, P90 i PFD bio nešto viši ili niži od vrednosti

koju su prijavili Knez i sar., (2022) (183,67 mg/100g_{sm}). Sadržaj kalcijuma u svim uzorcima je bio viši od prijavljenih vrednosti (40,3-46,1 mg/100g_{sm}) (Wszelaczyńska i sar., 2024), dok je u uzorku P90 bio skoro identičan literaturnoj vrednosti Knez i saradnika (2022) (292,52 mg/100g_{sm}). Sadržaj fosfora je takođe značajno smanjen nakon sušenja, a njegov sadržaj je bio niži od literaturnih podataka (Knez i sar., 2022) (523,81 mg/100g_{sm}).

Tabela 36. Mineralni sastav uzoraka peršuna pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm})

Mineral	**Uzorak**				
	PF	**PRT**	**P60**	**P90**	**PFD**
Natrijum, Na	357,09±5,84^{a}	88,35±0,46^{b}	83,25±1,01^{b,c}	76,30±0,05^{c}	62,62±0,83^{d}
Kalijum, K	758,27±3,95^{a}	169,80±0,26^{b}	161,47±0,45^{c}	139,18±0,66^{d}	144,11±0,75^{d}
Kalcijum, Ca	429,64±5,45^{a}	323,70±1,98^{b}	306,15±2,36^{c}	292,84±1,36^{d}	282,96±5,28^{d}
Magnezijum, Mg	233,16±4,59^{a}	215,43±2,23^{b}	191,55±1,99^{c}	179,01±1,07^{d}	192,96±2,50^{c}
Cink, Zn	13,39±0,22^{a}	11,55±0,02^{b}	10,49±0,02^{c}	9,39±0,04^{e}	10,13±0,09^{d}
Selen, Se	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Arsen, As	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Mangan, Mn	1,20±0,01^{a}	0,93±0,01^{b}	0,78±0,00d	0,85±0,01^{c}	0,74±0,01^{e}
Gvožđe, Fe	11,59±0,06^{a}	8,34±0,12^{b}	6,57±0,07^{d}	7,14±0,07^{c}	6,41±0,07^{d}
Bakar, Cu	1,85±0,01^{a}	1,59±0,01^{b}	1,42±0,02^{c}	1,38±0,01^{d}	1,43±0,01^{c}
Fosfor, P	466,85±5,99^{a}	375,81±6,71^{b}	368,19±3,34^{b}	331,55±2,33^{d}	351,69±3,17^{c}
Hrom, Cr	0,07±0,00^{a}	0,04±0,00^{b}	0,03±0,00^{c}	0,03±0,00^{d}	0,02±0,00^{e}
Kobalt, Co	0,03±0,00^{a}	0,02±0,00^{a}	0,01±0,00^{a}	0,05±0,07^{a}	0,02±0,00^{a}
Nikl, Ni	0,17±0,01^{a}	0,12±0,00^{c}	0,11±0,00^{c}	0,13±0,00^{b}	0,10±0,00^{d}
Kadmijum, Cd	0,04±0,01^{a}	0,02±0,00^{b}	0,02±0,00^{b}	0,02±0,00^{b}	0,02±0,00^{b}
Olovo, Pb	0,37±0,03^{a}	0,17±0,01^{b}	0,10±0,01^{d}	0,11±0,02^{c,d}	0,16±0,01^{b,c}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na 100 grama suve materije uzorka (mg/100g_{sm}).

Sličan trend primećen je i kod mikroelemenata, gdje je primećeno značajno smanjenje sadržaja cinka, gvožđa i mangana. Najveći gubitak cinka je ustanovljen pri sušenju na 90 °C (sa 13,39 mg/100g_{sm} na 9,39 mg/100g_{sm}), dok su vrednosti za gvožđe redukovane sa 11,59 mg/100g_{sm} na 6,41 mg/100g_{sm} kod uzorka PFD. U

odnosu na cink, gvožđe je nešto bolje očuvano kod sušenja na 90 °C. Sadržaj gvožđa u uzorcima PF i PRT je bio viši, a u ostalim uzorcima niži, od literaturnih (7,48 mg/100g_{sm}) (Knez i sar., 2022). Sadržaj bakra, nikla i hroma je takođe statistički značajno smanjen u osušenim uzorcima (p<0,05). Kao kod celera, selen i arsen nisu detektovani u ispitivanim uzorcima peršuna. Selen nije detektovan u korenu peršuna ni u radu Knez i saradnici (2022), dok je sadržaj bakra bio viši u odnosu na pomenuto istraživanje (0,95 mg/100g_{sm}).

Smanjenje bakra i drugih minerala u osušenim uzorcima može biti posledica visoke temperature i dugotrajnog izlaganja toploti i svetlosti (Ahmad i sar., 2022). Pozitivan aspekt procesa sušenja je smanjenje sadržaja pojedinih teških metala kao što su olovo i kadmijum.

Kao i kod prethodna dva uzorka, mineralni sastav rizoma kurkume je značajno izmenjen nakon sušenja (tabela 37). Od analiziranih makroelemenata najdominantniji u kontrolnom uzorku je bio kalijum sa iznosom od 1134,31 mg/100g_{sm}, što je značajno viša vrednost u odnosu na uzorak peršuna, dok je u ostalim uzorcima kurkume njegov sadržaj znatno opao i to najviše u uzorcima TRT (108,38 mg/100g_{sm}) i TFD (260,57 mg/100g_{sm}). Istu pojavu za kalijum prijavili su i autori Barbosa i saradnici (2022) koji su prijavili viši sadržaj kalijuma u uzorcima osušenim na 65 °C u odnosu na uzorke osušene u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi (2180 i 1730 mg/100g_{sm}, respektivno). Sadržaj kalijuma u kontrolnom uzorku bio je viši u odnosu na literaturne vrednosti, dok je u osušenim uzorcima bio niži (505,05-779,63 mg/100g_{sm}) (Bamigboye i sar., 2020; Ikpeama i sar., 2014; Okoye i sar., 2023). Sadržaj natrijuma u svim uzorcima bio je značajno niži u odnosu na uzorke celera i peršuna, a primećeno je da je u odnosu na kontrolni uzorak njegov sadržaj znatno povećan u uzorku TFD. Sadržaj natrijuma bio je značajno niži u odnosu na literaturnu vrednost, a koja je iznosila 147,24/100g_{sm} (Bamigboye i sar., 2020). S druge strane, sadržaj magnezijuma je bio viši u uzorku TRT (302,60 mg/100g_{sm}) u odnosu na kontrolni (247,85 mg/100g_{sm}), dok je u uzorku TFD uočen značajan pad koncentracije magnezijuma (25,95 mg/100g_{sm}). Takođe, isti zaključak su doneli i autori Barbosa i saradnici (2022) koji su prijavili viši sadržaj magnezijuma u uzorcima osušenim u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi u odnosu na uzorke osušene na 65 °C (110 mg/100g_{sm} i 70 mg/100g_{sm}). Vrednost magnezijuma u

rizomu kurkume prema literaturnim vrednostima kretala se u opsegu od 210,49 mg/100g_{sm} do 241 mg/100g (Bamigboye i sar., 2020; Okoye i sar., 2023). Sadržaj kalcijuma je najviši bio u kontrolnom uzorku (169,59 mg/100g_{sm}), a najniži u u uzorcima T60 i T90 (123,52 i 128,05 mg/100g_{sm}, respektivno). Ovaj zaključak je bio u skladu sa istraživanjem Barbosa i saradnika (2022) gde su prijavili manji sadržaj kalcijuma u uzorcima osušenim na 65 °C u odnosu na uzorke osušene na vazduhu (1080 mg/100g_{sm} i 1130 mg/100g_{sm}, respektivno). Sadržaj kalcijuma bio je prilično sličan vrednostima koje su prijavili Bamigboye i saradnici (2020) (192,90 mg/100g_{sm}), a mnogo niži u odnosu na Ikpeama i saradnici (2014) (2306 mg/100g_{sm}). Sadržaj fosfora u svim uzorcima rizoma kurkume bio je niži u odnosu na uzorke celera, a primećen je blagi porast u uzorcima TRT, T90 i TFD u odnosu na kontrolni, dok je u uzorku T60 blago smanjen sadržaj ovog makroelementa. U odnosu na literaturne vrednosti (214,00 mg/100g do 691,70 mg/100g_{sm}), detektovan je u manjoj količini (Bamigboye i sar., 2020; Ikpeama i sar., 2014; Okoye i sar., 2023). Od mikroelemenata najzastupljenije je bilo gvožđe u uzorku TF (24,34 mg/100g_{sm}), a liofilizacijom je značajno smanjen njegov sadržaj (2,03 mg/100g_{sm}), dok je u ostalim uzorcima koncentracija gvožđa bila u opsegu 11,85-17,20 mg/100$g_{sm.}$ Ova vrednost je bila u skladu sa literaturnim vrednostima (0,29 mg/100g do 4941 mg/100g_{sm}) (Bamigboye i sar., 2020; Ikpeama i sar., 2014; Okoye i sar., 2023). Uočena je i značajna koncentracija mangana u uzorcima TF i TFD (16,47 i 16,28 mg/100$g_{sm,}$ respektivno), što je mnogo više u odnosu na uzorke celera i peršuna, dok je sadržaj cinka u uzorcima TF i TFD bio niži u odnosu na uzorke celera i peršuna (4,99 i 5,89 mg/100$g_{sm,}$ respektivno). Vrednosti za cink u literaturi su se kretale od 0,92 mg/100g do 3,49 mg/100g_{sm}, a za mangan od 0,86 mg/100g do 23,03 mg/100g_{sm} (Bamigboye i sar., 2020; Okoye i sar., 2023). Sadržaj kobalta bio je nizak u kontrolnom uzorku (0,06 mg/100g_{sm}), a sušenjem je značajno smanjen njegov sadržaj (0,01-0,03 mg/100g_{sm}). Sadržaj olova je takođe bio najviši u kontrolnom uzorku (0,33 mg/100g_{sm}), a postupcima sušenja je sadržaj ovog elementa smanjen, dok u TFD uzorku nije detektovan. Kao i kod uzoraka celera i peršuna, selen i arsen nisu detektovani. U radu Bamigboye i saradnika (2020) navodi se sadržaj selena u iznosu od 2,53 µg/100g_{sm}. Sadržaj bakra u kontrolnom i uzorku TRT je bio identičan (0,67 mg/100g_{sm}), u uzorku TFD je neznatno smanjen (0,64 mg/100g_{sm}), a u ostalim uzorcima je zabeležen nešto veći pad koncentracije

(0,52-0,54 mg/100g_{sm}). Prema literaturnim podacima sadržaj bakra u rizomu kurkume je dosta varirao i kretao se u opsegu od 0,56 mg/100g_{sm} do 12,20 mg/100g (Bamigboye i sar., 2020; Okoye i sar., 2023). Sadržaji hroma i nikla najviši su bili u kontrolnim uzorcima (0,24 i 0,28 mg/100g_{sm}) i u svim osušenim uzorcima je zabeležen pad njihove koncentracije.

Tabela 37. Mineralni sastav uzoraka kurkume pre i nakon sušenja (mg/100g_{sm})

Mineral	**Uzorak**				
	TF	**TRT**	**T60**	**T90**	**TFD**
Natrijum, Na	5,81±0,06^{c}	8,79±0,23^{b}	4,72±0,11^{d}	4,16±0,06^{d}	35,00±0,42^{a}
Kalijum, K	1134,31±3,12^{a}	108,38±0,82^{e}	385,34±1,42^{b}	372,38±2,14^{c}	260,57±0,12^{d}
Kalcijum, Ca	169,59±2,68^{a}	152,62±0,86^{c}	123,52±1,27^{e}	128,05±1,25^{d}	164,28±1,67^{b}
Magnezijum, Mg	247,85±3,46^{b}	302,40±6,42^{a}	236,68±1,65^{c}	244,87±0,93^{b,c}	25,95±0,34^{d}
Cink, Zn	4,99±0,06^{c}	5,38±0,03^{b}	4,11±0,05^{e}	4,41±0,04^{d}	5,89±0,04^{a}
Selen, Se	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Arsen, As	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Mangan, Mn	16,47±0,10^{a}	13,85±0,27^{b}	10,21±0,14^{d}	13,19±0,19^{c}	16,28±0,09^{a}
Gvožđe, Fe	24,34±0,42^{a}	17,20±0,47^{b}	11,88±0,21^{c}	11,85±0,03^{c}	2,03±0,02^{d}
Bakar, Cu	0,67±0,01^{a}	0,67±0,00^{a}	0,54±0,01^{c}	0,52±0,01^{c}	0,64±0,01^{b}
Fosfor, P	148,43±1,47^{d}	180,30±2,31^{b}	138,56±0,16^{e}	157,64±2,85^{c}	187,34±2,02^{a}
Hrom, Cr	0,24±0,00^{a}	0,07±0,00^{b}	0,06±0,00^{c}	0,04±0,00^{d}	0,04±0,00e
Kobalt, Co	0,06±0,00^{a}	0,03±0,00^{b}	0,02±0,00^{c}	0,02±0,01^{b,c}	0,01±0,00^{d}
Nikl, Ni	0,28±0,01^{a}	0,07±0,00^{c}	0,05±0,00^{d}	0,04±0,00^{e}	0,14±0,00^{b}
Kadmijum, Cd	0,05±0,00^{a}	0,01±0,00^{c}	0,01±0,00^{d}	0,02±0,00b	0,00±0,00^{e}
Olovo, Pb	0,33±0,01^{a}	0,10±0,01^{c}	0,13±0,01^{b}	0,12±0,02^{b,c}	0,00±0,00^{d}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na 100 grama suve materije uzorka (mg/100g_{sm}).

Kontrastni trendovi u koncentracijama minerala nakon različitih postupaka sušenja mogu se logično objasniti fizičko-hemijskim svojstvima svakog minerala i njihovim interakcijama sa biljnim matriksom tokom obrade. Minerali rastvorljivi u vodi i osetljivi na toplotu, poput kalijuma, magnezijuma i mangana, imaju tendenciju da se bolje čuvaju u uzorcima sušenim liofilizacijom zbog niske temperature, vakuumskog okruženja koje sprečava gubitak i termičku razgradnju. S druge strane, minerali

poput gvožđa i cinka mogu se pojaviti u višim koncentracijama u uzorcima osušenim konvektivnim postupcima, ne nužno zbog boljeg zadržavanja, već zato što termička obrada olakšava razgradnju ćelijskih struktura, poboljšavajući oslobađanje minerala i analitičku detektabilnost. Stoga, uočene razlike odražavaju i složenu interakciju termičkog stresa, biljnog matriksa i ponašanja minerala tokom procesa sušenja (Kocaman i sar., 2025).

5.5. Prinosi ekstrakata

Iako trenutno postoji jasan trend ka zameni tradicionalnih tehnika ekstrakcije (kao što su: maceracija, infuzija, perkolacija, dekokcija i *Soxhlet* ekstrakcija) drugim, efikasnijim i naprednijim tehnikama ekstrakcije, takozvane konvencionalne tehnike ekstrakcije se i dalje najčešće koriste za ekstrakciju polifenolnih jedinjenja iz hrane. Čvrsto-tečna ekstrakcija se često koristi kada je potrebno ekstrahovati jedinjenja iz čvrstih uzoraka. U ovom slučaju, čvrsti uzorak se homogenizuje i ekstrahuje rastvaračem ili smešom rastvarača tokom određenog vremena (Bitwell i sar., 2023; Herrero i sar., 2012).

Tokom ekstrakcije sa rastvaračem, biljni materijali prolaze kroz proces u kojem rastvarač difunduje kroz ćelijski zid biljke, a rastvorena supstanca se rastvara u rastvaraču (ekstragensu), nakon čega sledi sakupljanje ekstrakta. Uočeno je da veličina čestica biljnog materijala, svojstva rastvarača, odnos čvrste faze prema rastvaraču, temperatura ekstrakcije i vreme ekstrakcije utiču na efikasnost ekstrakcije. Pa tako, rastvarači sa istim polaritetom kao i polaritet rastvorene supstance rezultovaće većim prinosom. Polarnost ekstragensa igra ključnu ulogu u povećanju prinosa polifenolnih i flavonoidnih jedinjenja. Visoka temperatura utiče na difuziju i rastvorljivost, ali visoke temperature mogu dovesti do gubitka rastvarača, onečišćenja ekstrakta i razgradnje termolabilnih jedinjenja. Efikasnost ekstrakcije se povećava sa vremenom ekstrakcije, a produžavanjem vremena neće se uticati na ekstrakciju. Što se tiče vremena ekstrakcije, ovaj parametar se značajno razlikuje; iako je generalno vreme ekstrakcije kod tradicionalnih metoda ekstrakcije uvek duže od 1 sata, korišćena su i vremena ekstrakcije i do nekoliko dana. Kada se ekstrakcija završi, uključuje se korak centrifugiranja ili filtracije da bi se odvojio čvrsti ostatak. Kasnije se rastvarač uklanja isparavanjem, a suvi ekstrakt se pre analize ponovo rastvara u odgovarajućem rastvaraču. Što je veći odnos rastvarača i čvrste

supstance, veći je prinos ekstrakcije (El Mannoubi, 2023; Herrero i sar., 2012; Nortjie i sar., 2022).

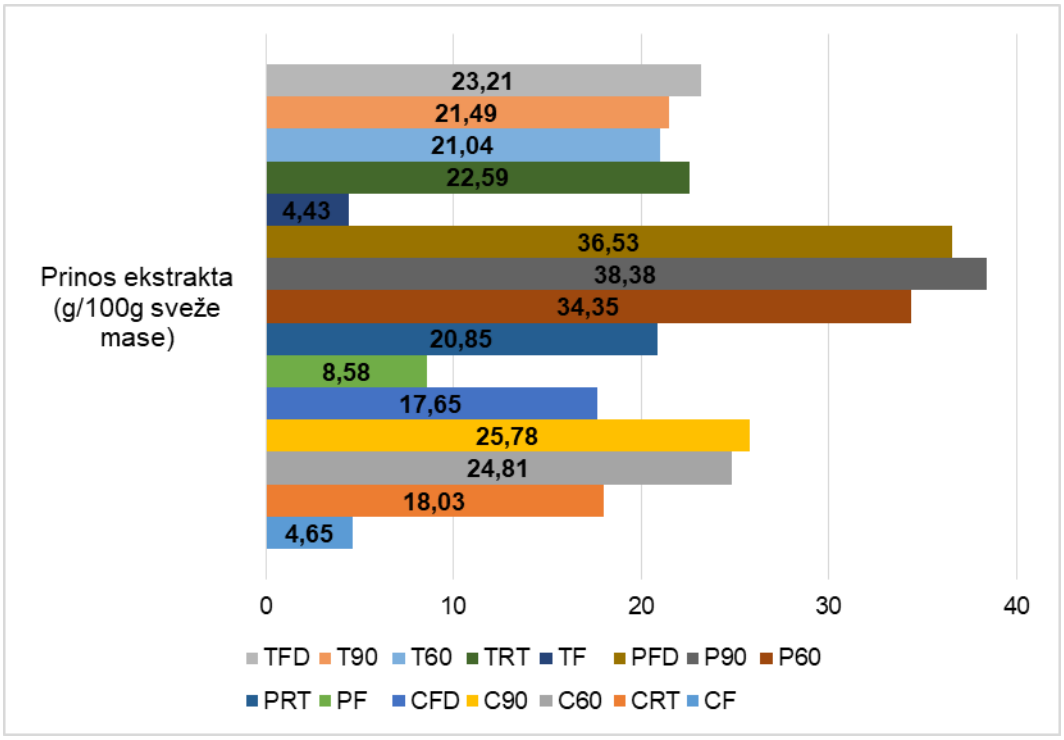
Da bi se povećao prinos ekstrakta, često se koristi ekstrakcija rastvaračem potpomognuta ultrazvučnim talasima (UAE). Ovo je metoda ekstrakcije u kojoj se koriste ultrazvučni talasi koji prolaze kroz rastvarač, proizvodeći energiju i poboljšavajući difuziju rastvarača u uzorak. Ultrazvučni talasi izazivaju pucanje ćelijskog zida i oslobađanje intraćelijskog sadržaja u medijum. Glavni faktori koji uzrokuju pucanje ćelija su mlazevi tečnosti i udarni talasi izazvani kolapsom mehurića koje generišu ultrazvučni talasi (Cook i Lanaras, 2016; Nortjie i sar., 2022).

Naime, ultrazvuk se sastoji od mehaničkih talasa sa frekvencijama većim od 20 kHz. Ovi talasi, koji se mogu širiti kroz čvrstu, tečnu ili gasovitu sredinu, sastoje se od naizmeničnih visoko-pritisnih (kompresija) i nisko-pritisnih (dekompresija) zona. Kavitacija je ključni fenomen u ultrazvučnoj ekstrakciji. Pri tome se stvaraju mehurići, koji se šire i kolabiraju tokom ovog procesa, dovodeći do lokalnog porasta pritiska i temperature. Asimetrični kolaps mehurića blizu čvrstih površina (zida suda ili biljnog materijala) tokom kavitacije rezultuje udarnim talasima i mikromlazevima, koji dovode do razbijanja ćelijskih zidova, smanjenja veličine čestica i poboljšanja prenosa mase. Na taj način se olakšava infiltracija rastvarača i oslobađanje bioaktivnih supstanci iz biljnog matriksa (Grogan i Mount, 2025; Sethi i Rathod, 2025).

Uticaji temperature i vremena ekstrakcije kod UAE su opširno istraživani. Na kontrolisanoj temperaturi, ekstrakcija polifenolnih jedinjenja će se povećati povećanjem vremena ekstrakcije do potpune ekstrakcije ili zasićenja rastvaračem. S druge strane, za dato vreme ekstrakcije, povećanje temperature ekstrakcije može takođe dovesti do povećanja prinosa polifenolnih jedinjenja. Ipak, ovo povećanje će biti ograničeno mogućom razgradnjom ovih jedinjenja na relativno visokim temperaturama. Da bi se osigurala bezbednost i potpuno izbegla termička razgradnja polifenola, temperatura u UAE ne bi trebalo da prelazi 40°C (Herrero i sar., 2012).

U pregledanoj literaturi, vreme ekstrakcije rizoma kurkume je značajno variralo, u trajanju od 30 minuta pa do 3 sata (Binello i sar., 2020; K. Singh i sar., 2022; Slaček i sar., 2023; Torquato i sar., 2025). U ovoj doktorskoj disertaciji, primećeno je da je od svih uzoraka najniži prinos ostvaren kod svežih (kontrolnih) uzoraka. Ova pojava se može objasniti činjenicom da vlaga sadržana u uzorku takođe može imati značajan uticaj na ishod ekstrakcije. Pokazano je kako suvi uzorci daju veći prinos od uzoraka sa visokim sadržajem vlage. Pretpostavlja se da je ovaj fenomen posledica veće poroznosti suvog materijala, što podrazumeva veću brzinu difuzije rastvarača (Herrero i sar., 2012). Prinosi ekstrakata svežeg korena celera, peršuna i rizoma kurkume iznosili su 4,65%, 8,58% i 4,43%, respektivno.

Prinos ekstrakata korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume dat je na slici 15.



Slika 15. Prinos ekstrakata korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume

Među biljnim vrstama, najviši prinos ekstrakcije ostvaren je kod uzorka C90 (25,78%), uzorka P90 (38,38%) i uzorka TFD (23,21%). Prinosi osušenih uzoraka korena celera bili su značajno viši u odnosu na prinos prijavljen od strane Iswantini i saradnika (2012) (5,42%), koji su primenili metodu maceracije za ekstrakciju uzorka. Prinosi osušenih rizoma kurkume bili su viši u odnosu na rezultate Charan i

saradnika (2022) (12,33-15%), Haiyee i saradnika (2016) (6,40%), Slaček i saradnika (2023) (6,83%), a niži u odnosu na rezultate Laocharoen i saradnika (2025) (39,06%).

5.6. Uticaj različitih postupaka sušenja na sadržaj polifenolnih jedinjenja u uzorcima

Sadržaj ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u uzorcima celera prikazan je u tabeli 38. Sadržaj ukupnih polifenola u kontrolnom uzorku celera CF iznosio je 1,68 mg GAE/g_{sm}. Sadržaj ukupnih polifenola u svežem korenu celera bio je nešto niži u poređenju sa istraživanjima Salamatullah i saradnika (2021), Priecina i Karklina (2014), Popova i saradnika (2014) i Đurović i saradnika (2023) koji su u svojim istraživanjima prijavili vrednosti u iznosu od 2,2 mg GAE/g, 3,63 mg GAE/g_{sm} , 11 mg GAE/g, 2,99 mg GAE/g, respektivno. S druge strane, dobijene vrednosti su bile više od onih koje su objavili autori Milić i saradnici (2024) i Nurkhoeriyati i saradnici (2021), a koje su iznosile 1,13-1,43 mg GAE/g_{sm} i 1,16 mgGAE/g .

Tabela 38. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u korenu celera pre i nakon sušenja

Uzorak	Ukupni polifenoli (mg GAE/g_{sm})	Ukupni flavonoidi (mg QE/g_{sm})	Ukupni flavonoli (mg QE/g_{sm})	Ukupni flavan-3-oli (mg CE/g_{sm})
CF	1,68±0,05^{d}	0,15±0,007^{d}	1,40±0,06^{e}	0,24±0,00^{e}
CRT	1,31±0,05^{b}	0,14±0,01^{c}	0,73±0,04^{c}	0,11±0,00^{d}
C60	1,44±0,04^{c}	0,10±0,00^{b}	0,82±0,02^{d}	0,08±0,00^{c}
C90	1,40±0,04^{b,c}	0,10±0,00^{b}	0,49±0,01^{a}	0,06±0,00^{b}
CFD	1,13±0,03^{a}	0,06±0,00^{a}	0,60±0,01^{b}	0,05±0,00^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na suvu materije uzorka (mg/g_{sm}). GAE – galna kiselina ekvivalent, QE – kvercetin ekvivalent, CE – katehin ekvivalent.

S obzirom na različite literaturne podatke, ove razlike u sadržaju polifenolnih supstanci mogu biti rezultat različitih metoda ekstrakcije, kao i genotipova, agroklimatskih uslova, vremena branja, metoda skladištenja i slično (Godlewska i sar., 2020). Sadržaj ukupnih polifenola bio je najviši u kontrolnom uzorku (CF) i

statistički se značajno razlikovao od ostalih tretiranih uzoraka (p<0,05), dok je među osušenim uzorcima najviši sadržaj ovih jedinjenja pronađen u uzorku C60, koji se nije statistički značajno razlikovao od uzorka C90 (p>0,05). Ovaj zaključak je bio u skladu sa istraživanjem Karabacak i saradnika (2018), gde je značajno viši sadržaj ukupnih polifenola bio u kontrolnom uzorku (3,08 mg GAE/g_{sm}) nego u konvektivno osušenim uzorcima (1,16-1,48 mg GAE/g_{sm}). Takođe, prema istraživanju Marić i saradnika (2020), sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima korena celera je značajno smanjen nakon sušenja na 50 °C i 70 °C kao i nakon liofilizacije u odnosu na kontrolni uzorak, a sadržaj ovih jedinjenja je zavisio od vrste ekstragensa i načina ekstrakcije. Suprotno, Priecina i Karklina (2014) i Priecina i saradnici (2018), su ustanovili da se konvektivnim sušenjem korena celera na 45 °C povećao sadržaj ukupnih polifenola u odnosu na kontrolni uzorak. Najniži sadržaj ovih jedinjenja bio je u uzorku CFD (p<0,05). Ovako dobijen rezultat je u skladu sa istraživanjem Liang i saradnika (2018), koji su potvrdili da se konvektivnim postupkom sušenja može postići viši sadržaj ukupnih polifenola u poređenju sa liofilizovanim uzorcima. Ova pojava bi se mogla objasniti sintezom ili oslobađanjem polifenolnih jedinjenja tokom sušenja ili delovanjem enzima oslobođenih iz oštećenog biljnog tkiva, koji katalizuju reakcije oksidacije, hidrolize ili glikolize. Da bi se ove reakcije odvijale, potrebna je povišena temperatura. Ovaj fenomen su takođe primetili Miao i saradnici (2022). Pored toga, Roshanak i saradnici (2016) su otkrili da sveži i liofilizovani uzorci zelenog čaja imaju niže nivoe polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti (mereno DPPH$^{\bullet}$ testom) u poređenju sa uzorcima osušenim na 60 °C. Takođe, u studiji koju su sproveli Skendi i saradnici (2023), utvrđeno je da većina liofilizovanih uzoraka ima najniže sadržaje ukupnih polifenola u poređenju sa onima osušenim drugim tehnikama.

Takođe, u ovom istraživanju je primećeno da je sa povećanjem temperature sušenja došlo i do povećanja sadržaja ukupnih polifenola u uzorku C60 u poređenju sa CRT uzorkom, a ovaj zaključak je u skladu sa istraživanjem Kręcisz i saradnika (2023), gde je u uzorcima osušenim na višim temperaturama zabeležen viši sadržaj ukupnih polifenola. Ovaj efekat bi se mogao objasniti mogućim vezivanjem polifenola za druga jedinjenja ili promenom njihove hemijske strukture kao rezultat degradacije (Karabacak i sar., 2018). S druge strane Kręcisz i saradnici (2023), su prijavili da je

liofilizacijom u najvećoj meri očuvan sadržaj polifenolnih jedinjenja. Sadržaj ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola takođe je bio najviši u kontrolnom uzorku celera. Smanjenje sadržaja flavonoida, flavonola i flavan-3-ola nakon konvektivnog sušenja korena celera takođe su izvestili Priecina i Karklina (2014), dok je najniži sadržaj ovih jedinjenja pronađen u CFD uzorku. Sadržaj ukupnih flavonoida u uzorku CF bio je niži u odnosu na rezultate Popova i saradnici (2014), Milić i saradnici (2024), Kaiser i saradnici (2013) i Priecina i Karklina (2014), a koje su iznosile 2 mg QE/g, 0,36-0,54 mg CE/g_{sm}, 1,2 mg/g_{sm} i 3,25 mg CE/g_{sm}, respektivno. Među osušenim uzorcima, sadržaj ukupnih flavonola bio je najviši u uzorku C60, zatim u uzorku CRT (p<0,05), dok je najniži sadržaj bio u uzorku C90, verovatno zbog njihove nedovoljne otpornosti na više temperature. Sadržaj ukupnih flavonoida i flavan-3-ola smanjivao se sa povećanjem temperature sušenja, dok se sadržaj flavonola smanjivao iznad 60 °C. Veći sadržaj ukupnih polifenola u uzorku C60 u odnosu na uzorke CRT i CFD može se objasniti činjenicom da je enzim polifenol oksidaza inaktiviran na toj temperaturi (Priecina i sar., 2018), dok dalje povećanje temperature dovodi do termičke razgradnje ovih jedinjenja, što uzrokuje smanjenje njihove koncentracije. Slično, autori Priecina i saradnici (2018) su prijavili smanjenje sadržaja ukupnih flavonoida u osušenom uzorku, dok se s druge strane prema njihovom istraživanju sadržaj ukupnih flavonola (sa 49,45 na 244,05 mg RE/100g_{sm}) i flavan-3-ola značajno povećao (sa 0 na 5910,80 mg CE/100g_{sm}).

Sadržaj ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u uzorcima peršuna prikazan je u tabeli 39. Sadržaj ukupnih polifenola bio je najviši u uzorku PRT i statistički se značajno razlikovao od ostalih uzoraka (p<0,05). Sadržaj ovih jedinjenja u kontrolnom uzorku bio je niži u poređenju sa rezultatima Dobričević i saradnika (2019), a koje su se kretale u opsegu od 2,24–3,35 mg GAE/g_{sm} u zavisnosti od ispitivane sorte. Slično celeru, liofilizovani uzorak korena peršuna pokazao je najniži sadržaj ukupnih polifenola, koji se nije statistički značajno razlikovao od uzorka P90 (p>0,05).

Tabela 39. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u korenu peršuna pre i nakon sušenja

Uzorak	Ukupni polifenoli (mg GAE/g_{sm})	Ukupni flavonoidi (mg QE/g_{sm})	Ukupni flavonoli (mg QE/g_{sm})	Ukupni flavan-3-oli (mg CE/g_{sm})
PF	1,50±0,04^{b}	0,75±0,01^{d}	1,46±0,02^{b}	0,08±0,00^{e}
PRT	1,58±0,03^{c}	0,53±0,01^{a}	1,51±0,03^{b}	0,05±0,00^{d}
P60	1,48±0,01^{b}	0,60±0,00^{c}	1,56±0,06^{b}	0,03±0,00^{c}
P90	1,38±0,01^{a}	0,56±0,00^{b}	1,77±0,05^{c}	0,01±0,00^{a}
PFD	1,32±0,02^{a}	0,52±0,01^{a}	0,80±0,01^{a}	0,02±0,00^{b}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na suvu materije uzorka (mg/g_{sm}). GAE – galna kiselina ekvivalent, QE – kvercetin ekvivalent, CE – katehin ekvivalent.

Niži sadržaj ovih jedinjenja je takođe pronađen u uzorku P90 u poređenju sa uzorcima PF, PRT i P60 (p<0,05). Prema istraživanju Marić i saradnika (2020), sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima korena peršuna je značajno smanjen nakon sušenja na 50 °C i 70 °C kao i nakon liofilizacije u odnosu na kontrolni uzorak, a sadržaj ovih jedinjenja je zavisio od vrste ekstragensa i načina ekstrakcije. Sadržaj ukupnih flavonoida i flavan-3-ola bio je najviši u kontrolnom uzorku peršuna (p<0,05). Među tretiranim uzorcima, sadržaj flavonoida bio je najviši u uzorku P60, a najniži u uzorcima PFD i PRT (p>0,05). Kod postupka konvektivnog sušenja, sadržaj flavan-3-ola se smanjivao sa povećanjem temperature i bio je najniži u uzorku P90, a najviši u uzorku PRT (p<0,05).

Za razliku od prethodna dva uzorka, sadržaj ukupnih polifenola bio je najviši u uzorku liofilizovane kurkume (p<0,05), a najniži u uzorku T90, koji se nije statistički značajno razlikovao od kontrolnog uzorka (p>0,05). Sadržaj ovih jedinjenja bio je viši na nižim temperaturama sušenja, verovatno zbog manje otpornosti ovih jedinjenja na povišene temperature (tabela 40).

Tabela 40. Sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola u rizomu kurkume pre i nakon sušenja

Uzorak	Ukupni polifenoli (mg GAE/g_{sm})	Ukupni flavonoidi (mg QE/g_{sm})	Ukupni flavonoli (mg QE_{sm})	Ukupni flavan-3-oli (mg CE/g_{sm})
TF	32,18±1,05^{a}	106,55±0,76^{a}	103,00±6,55^{a}	23,73±0,42^{d}
TRT	35,43±0,36^{b}	114,86±3,77^{a}	169,22±5,69^{c}	19,74±0,65^{c}
T60	34,91±0,51^{b}	102,58±4,25^{a}	124,21±6,55^{b}	15,29±0,79^{a}
T90	32,94±0,05^{a}	104,14±6,75^{a}	119,86±0,35^{b}	17,67±0,36^{b}
TFD	44,92±1,27^{c}	171,26±6,43^{b}	208,72±1,02^{d}	27,04±1,06^{e}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). Rezultati su izraženi u miligramima na suvu materije uzorka (mg/g_{sm}). GAE – galna kiselina ekvivalent, QE – kvercetin ekvivalent, CE – katehin ekvivalent.

Slična zapažanja su primetili i autori Lima i saradnici (2022), gde je došlo do smanjenja sadržaja ovih jedinjenja u uzorku sušenom na 75 °C u poređenju sa uzorkom sušenim na 65 °C. Sadržaj ovih jedinjenja u kontrolnom uzorku bio je nešto niži u poređenju sa vrednostima koje su izvestili Komonsing i saradnici (2022), a koje su se kretale u rasponu od 34,9–53,4 mg GAE/g_{sm}. S druge strane, sadržaj ukupnih polifenola u kontrolnom uzorku je bio viši u odnosu na istraživanje Pal i saradnika (2020), Wu i saradnika (2024) i Choi i saradnika (2020), a koje su iznosile (5,56-9,48 mg GAE/g_{sm}, 27,12 mg GAE/g i 6,57 mg GAE/g_{sm}, respektivno). Sadržaj ukupnih polifenola bio je približno sličan vrednostima koje su prijavili Muflihah i saradnici (2021) i Barbosa i Minguillan (2021) (32,57 mg GAE/g osušenog uzorka i 32,36 mg GAE/g uzorka osušenog na suncu, respektivno). Autori Hirun i saradnici (2014) su prijavili višu vrednost za sadržaj ukupnih polifenola u rizomu kurkume nakon esktrakcije u metanolu (59,6 mg GAE/g_{sm}). Dobijeni rezultati za uzorak TRT bili su viši u poređenju sa istraživanjem autora Moulick i saradnika (2023), a koji su iznosili 26,37 mg GAE/g ili 28,88 mg GAE/g_{sm}. Sadržaj ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola takođe je bio najviši u uzorku liofilizovane kurkume i, generalno, njihov sadržaj je bio viši na nižim temperaturama sušenja, osim ukupnih flavonoida i flavan-3-ola, čije su koncentracije bile više u uzorku T90 u poređenju sa uzorkom T60. Ova

razlika u ukupnim flavonoidima nije bila statistički značajna (p>0,05). Sadržaj ukupnih flavonoida je bio viši u odnosu na istraživanja Pal i saradnika (2020) i Ghasemzadeh i saradnika (2021) (4,46-11,05 mg QE/g_{sm} i 0,094 mg QE/g_{sm}, respektivno). Povećanje sadržaja polifenolnih jedinjenja u uzorku TRT u poređenju sa uzorcima CRT i PRT može biti posledica inhibitornog dejstva kurkumina na polifenol oksidazu, čime se inhibira oksidacija polifenolnih jedinjenja (Deng i sar., 2023).

Takođe, viši sadržaj polifenolnih jedinjenja u uzorku liofilizovane kurkume u poređenju sa drugim uzorcima kurkume mogao bi se objasniti činjenicom da se tokom ovog procesa unutar uzorka formiraju male pore zbog formiranja malih kristala leda i njihove sublimacije, što kasnije omogućava veću efikasnost ekstrakcije, što na kraju dovodi do većeg sadržaja ovih jedinjenja (Garcìa i sar., 2021; Meng i sar., 2018). Autori Chumroenphat i saradnici (2021) takođe su izvestili o višim nivoima ukupnih polifenolnih jedinjenja u liofilizovanom rizomu kurkume u poređenju sa uzorcima koji su sušeni konvektivnim postupcima u struji toplog vazduha ili sušenja na suncu. Međutim, drugi autori navode da se sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativni kapacitet mogu povećati ili smanjiti nakon sušenja, u zavisnosti ne samo od sorte već i od načina uzgoja (konvencionalni ili organska proizvodnja) (Lutz i sar., 2015).

5.7. Uticaj različitih postupaka sušenja na antioksidativnu aktivnost uzoraka

Antioksidativna aktivnost uzoraka celera prema DPPH i ABTS slobodnim radikalima, kao i FRAP testu su prikazane u tabeli 41. Može se primetiti da su svi tretirani uzorci celera pokazali snažniju antioksidativnu aktivnost na $DPPH^{\bullet}$ testu u poređenju sa kontrolnim uzorkom, čija je vrednost IC_{50}^{DPPH} iznosila 46,45 mg/mL. Dobijena vrednost je bila značajno niža (što ukazuje na bolju antioksidativnu aktivnost) u odnosu na rezultate Plećić i saradnika (2024) i Milić i saradnika (2024) (73,9 mg/mL i 85,6-274,1 mg/mL, respektivno). S druge strane, autori Aboody (2021) i Nikolić i saradnici (2011) prijavili su niže vrednosti (39,71 μg/mL i 2,41-3,14 mg/mL, respektivno). S obzirom na DPPH radikale, CRT uzorak je pokazao najveću antioksidativnu aktivnost (13,88 mg/mL) među tretiranim uzorcima celera, dok je liofilizovani uzorak pokazao najslabiju antioksidativnu aktivnost (45,90 mg/mL).

Liofilizovani uzorci celera imali su sličan antioksidativni kapacitet kao kontrolni uzorak i nisu se statistički značajno razlikovali u rezultatima DPPH$^{\bullet}$ testa (p>0,05).

Tabela 41. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka korena celera pre i nakon sušenja

Uzorak	IC_{50}^{DPPH} (mg/mL)	IC_{50}^{ABTS} (mg/mL)	FRAP (μmol Fe^{2+}/g_{sm})
CF	46,45±1,82^{c}	0,82±0,05^{a}	5,01±0,14^{a}
CRT	13,88±0,50^{a}	1,02±0,03^{b}	14,21±0,88^{c}
C60	17,81±0,94^{b}	1,38±0,06^{c}	11,28±0,04^{b}
C90	20,16±0,60^{b}	1,33±0,03^{c}	10,84±0,01^{b}
CFD	45,90±1,68^{c}	1,56±0,07^{d}	5,52±0,12^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). sm – suva materija.

S obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test, autori Marić i saradnici (2020), ustanovili su smanjenje antioksidativne aktivnosti svih tretiranih uzoraka u odnosu na kontrolni. S obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test, autori Marić i saradnici (2020), ustanovili su i smanjenje i povećanje antioksidativne aktivnosti korena celera sa povećanjem temperature sušenja (sa ili bez značajne razlike) u zavisnosti od načina ekstrakcije i vrste ekstragensa, kao i viši i niži antioksidativni kapacitet konvektivno osušenih uzoraka u odnosu na liofilizovani uzorak korena celera. Isti autori su prijavili da se liofilizacijom u najvećoj meri očuvao antioksidativni kapacitet uzoraka. Značajno povećanje antioksidativne aktivnosti korena celera nakon konvektivnog sušenja primetili su i autori Priecina i Karklina (2014) i Priecina i saradnici (2018). Autori Kręcisz i saradnici (2023), su prijavili da je kod konvektivno osušenih uzoraka antioksidativni kapacitet bio slabiji u odnosu na liofilizovani uzorak (za DPPH$^{\bullet}$ test 386,01 μmol TE/100g_{sm}, za ABTS$^{\bullet+}$ test 721,53 μmol TE/100g_{sm} i FRAP test 163,40 μmol TE/100g_{sm}), ali da se sa povećanjem temperature sušenja povećavala i antioksidativna aktivnost uzoraka (za DPPH$^{\bullet}$ test 222,48-359,81 μmol TE/100g_{sm}, za ABTS$^{\bullet+}$ test 624,41-713,16 μmol TE/100g_{sm} i FRAP test 141,53-154,68 μmol TE/100g_{sm}).

Polifenolna jedinjenja i antioksidativna aktivnost identifikovani su u korenu celera i nakon sušenja, uprkos određenim promenama (Nurkhoeriyati i sar., 2023). Prema istraživanju Nurkhoeriyati i saradnika (2023), tokom sušenja, sadržaj ukupnih polifenola je ubrzo opao, nakon čega je usledila stabilizacija, dok se antioksidativna aktivnost istovremeno povećala, verovatno zbog formiranja međuproizvoda oksidacije ili proizvoda Majlardove reakcije koji poseduju antioksidativna svojstva. Smanjenje sadržaja polifenolnih jedinjenja je verovatno posledica enzimske aktivnosti, izlaganja povišenim temperaturama i kiseoniku.

Slično kao kod DPPH$^{\bullet}$ testa, posmatrajaću rezultate FRAP testa, svi tretirani uzorci celera pokazali su bolju antioksidativnu aktivnost u poređenju sa kontrolnim uzorkom, dok je u ABTS$^{\bullet+}$ testu kontrolni uzorak pokazao najveći antioksidativni potencijal. Kontrolni uzorak CF, na ABTS$^{\bullet+}$ testu, pokazao je značajno više vrednosti u odnosu na rezultat koji je prijavio Aboody (2021) (48,68 µg/mL). Liofilizovani uzorci celera imali su sličan antioksidativni kapacitet kao kontrolni uzorak i nisu se statistički značajno razlikovali prema FRAP testu (p>0,05). Ove razlike u trendovima među pojedinim antiokisdativnim testovima, mogle bi se objasniti različitim mehanizmima reakcije slobodnih radikala i Fe^{2+} jona sa antioksidantima. Naime, ABTS$^{\bullet+}$ test se zasniva na mehanizmu prenosa protona (HAT), FRAP test na prenosu jednog elektrona (SET), a DPPH$^{\bullet}$ test na kombinaciji prethodna dva, odnosno HAT/SET mehanizma (Dorsey i Jones, 2017).

Antioksidativna aktivnost uzoraka peršuna na sva tri testa je prikazana u tabeli 42. Slično kao i kod celera, kontrolni uzorak PF je s obzirom na DPPH radikal pokazao najslabiji antioksidativni kapacitet, dok je s obzirom na ABTS$^{\bullet+}$ test pokazao bolju antioksidativnu aktivnost u odnosu na uzorke P60, P90 i PFD. Prema FRAP testu, uzorak PF je bio lošiji samo u odnosu na uzorak PRT. PRT uzorak, u odnosu na DPPH$^{\bullet}$, ABTS$^{\bullet+}$ i FRAP testove, pokazao je najjaču antioksidativnu aktivnost i statistički se značajno razlikovao od ostalih uzoraka (p<0,05).

Tabela 42. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka korena peršuna pre i nakon sušenja

Uzorak	IC_{50}^{DPPH} (mg/mL)	IC_{50}^{ABTS} (mg/mL)	FRAP (μmol Fe^{2+}/g_{sm})
PF	26,98±1,70^{c}	1,21±0,05^{b}	12,47±0,25^{b}
PRT	13,25±0,12^{a}	0,92±0,04^{a}	16,05±0,27^{c}
P60	19,66±0,27^{b}	1,80±0,02^{d}	10,37±0,11^{a}
P90	19,97±0,31^{b}	1,72±0,02^{c,d}	10,26±0,30^{a}
PFD	18,33±0,16^{b}	1,59±0,08^{c}	12,10±0,20^{b}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). sm – suva materija.

Uzimajući u obzir rezultate DPPH$^{\bullet}$ i FRAP testova, može se zaključiti da kod konvektivnih metoda sušenja povećanje temperature sušenja dovodi do smanjenja antioksidativne aktivnosti ovih uzoraka (p>0,05), dok je prema ABTS$^{\bullet+}$ testu, uzorak P90 pokazao nešto izraženiju antioksidativnu aktivnost u poređenju sa P60. Sličan zaključak, s obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test, izveli su i autori Marić i saradnici (2020), koji su ustanovili smanjenje antioksidativne aktivnosti korena peršuna sa povećanjem temperature sušenja. Isti autori su prijavili da se liofilizacijom u najvećoj meri očuvao antioksidativni kapacitet uzoraka. Kontrolni uzorak i PFD, prema FRAP testu, nisu se statistički značajno razlikovali.

Antioksidativna aktivnost uzoraka kurkume na sva tri testa je prikazana u tabeli 43. S obzirom na sva tri antioksidativna testa, uzorak TF pokazao je najslabiju antioksidativnu aktivnost, dok je uzorak TFD pokazao najjaču antioksidativnu aktivnost. Upoređujući vrednosti IC_{50} za DPPH$^{\bullet}$ i ABTS$^{\bullet+}$ testove TRT uzorak je pokazao bolju antioksidativnu aktivnost u odnosu na uzorke T60 i T90, pa očigledno je da niska temperatura sušenja (25–28 °C) doprinosi većem očuvanju antioksidativnog kapaciteta uzoraka. Sličan zaključak potvrdili su i autori Lima i saradnici (2022). Što se tiče ABTS$^{\bullet+}$ i FRAP testova, dalje povećanje temperature sušenja praćeno je smanjenjem antioksidativne aktivnosti, dok je u pogledu DPPH$^{\bullet}$ testa primećeno povećanje antioksidativne aktivnosti u uzorku T90 u poređenju sa uzorkom T60, ali bez statistički značajne razlike (p>0,05).

Tabela 43. Antioksidativna aktivnost na DPPH i ABTS slobodne radikale i FRAP testu uzoraka rizoma kurkume pre i nakon sušenja

Uzorak	IC_{50}^{DPPH} (μg/mL)	IC_{50}^{ABTS} (μg/mL)	FRAP (μmol Fe^{2+}/g_{sm})
TF	339,33±3,89^{d}	27,84±0,28^{b}	409,67±13,33^{a}
TRT	197,97±10,40^{b}	18,62±0,76^{a}	493,41±7,28^{c}
T60	274,00±15,22^{c}	19,87±0,65^{a}	442,59±4,67^{b}
T90	263,66±2,22^{c}	25,72±1,14^{b}	428,90±2,64^{a,b}
TFD	163,99±4,73^{a}	18,16±0,64^{a}	619,72±6,40^{d}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). sm – suva materija.

Vrednost za IC_{50}^{DPPH} za kontrolni uzorak bila je viša u odnosu na rezultate Hirun i saradnika (2014) (57,2 mg/L) i Pal i saradnika (2020) (78,17-124,81 μg/mL za osušene uzorke, ekstrakcija u metanolu), verovatno zbog različitog načina ekstrakcije. Rezultati dobijeni za liofilizovanu kurkumu za $DPPH^{\bullet}$ test bili su mnogo niži (što ukazuje na bolju antioksidativnu aktivnost) u poređenju sa rezultatima koje su objavili Tiveron i saradnici (2012) (IC_{50}^{DPPH} = 21,14 mg/mL), a za FRAP test, rezultati su bili značajno viši (169,1 μmol Fe^{2+}/g_{sm}). Štaviše, uzorak kurkume pokazao je bolji antioksidativni kapacitet u poređenju sa metanolnim ekstraktom liofilizovane kurkume autora Ghasemzadeh i saradnika (2012) (IC_{50}^{DPPH} = 600,7 μg/mL). S obzirom na $ABTS^{\bullet+}$ test, svi uzorci su pokazali bolju antioksidativnu aktivnost u odnosu na rezultate od strane Pal i saradnika (2020) za osušene rizome kurkume, a koji su bili u opsegu od 89,26 do 109,48 μg/mL.

Veći antioksidativni kapacitet osušenih uzoraka mogao bi se objasniti činjenicom da se tokom sušenja polifenolna jedinjenja oksiduju pri čemu imaju veću antioksidativnu moć od svojih neoksidovanih oblika ili se formiraju nova jedinjenja koja pokazuju antioksidativnu aktivnost, npr. tokom Majlardove reakcije (Nora i sar., 2014; Vidinamo i sar., 2022). Smanjenje sadržaja polifenolnih jedinjenja uz istovremeni porast antioksidativne aktivnosti može biti rezultat nekoliko faktora, kao što su povećana antioksidativna moć polifenola u prelaznom stanju oksidacije, povećanje

sadržaja redukujućih šećera i formiranje proizvoda Majlardove reakcije, za koje je poznato da imaju visoku antioksidativnu aktivnost (Madrau i sar., 2009).

5.8. Analiza korelacija

Rezultati analize korelacije polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti prikazani su u tabeli 44. Utvrđeno je da postoji veoma jaka statistički značajna pozitivna korelacija između sadržaja ukupnih polifenola i ukupnih flavonoida sa koeficijentom korelacije od 0,994 (p=0,000). Slično tome, postojala je veoma jaka statistički značajna pozitivna korelacija između sadržaja ukupnih polifenola i sadržaja ukupnih flavonola sa koeficijentom korelacije od 0,984 (p=0,000). Sadržaj ukupnih polifenola takođe je pokazao veoma jaku statistički značajnu pozitivnu korelaciju sa sadržajem ukupnih flavan-3-ola sa koeficijentom korelacije od 0,982 (p=0,000). Takođe, postojala je veoma jaka, statistički značajna, negativna korelacija između IC_{50}^{ABTS} i FRAP sa koeficijentom korelacije od -0,904 (p=0,000).

Tabela 44. Analiza korelacije sadržaja polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti

	Ukupni flavonoidi	**Ukupni flavonoli**	**Ukupni flavan-3-oli**	**IC_{50}^{ABTS}**	**IC_{50}^{DPPH}**	**FRAP**
Ukupni polifenoli	0,994**	0,984**	0,982**	-0,910**	-0,759**	0,999*
Ukupni flavonoidi	-	0,989**	0,987**	-0,889**	-0,744**	0,996**
Ukupni flavonoli	-	-	0,963**	-0,875**	-0,731*	0,991**
Ukupni flavan-3-oli	-	-	-	-0,894**	-0,744**	0,982**
IC_{50}^{ABTS}	-	-	-	-	0,676*	-0,904**
IC_{50}^{DPPH}	-	-	-	-	-	-0,761**

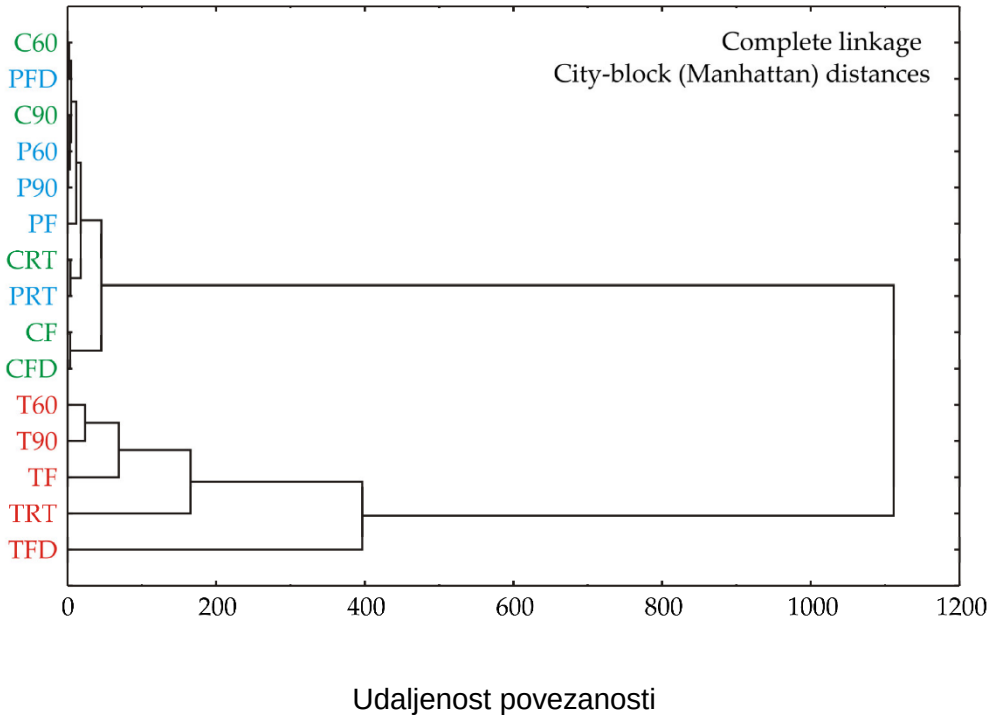
Napomena: * statistički značajna korelacija pri p≤0,01, ** statistički značajna korelacija pri p≤0,001

Pored toga, vrednosti FRAP testa su pokazale izuzetno jaku, pozitivnu, statistički značajnu korelaciju sa sadržajem ukupnih polifenola sa koeficijentom korelacije od 0,999 (p=0,000), sugerišući da antioksidativna aktivnost uzoraka značajno zavisi od njihovog sadržaja. Ukupan sadržaj polifenola imao je jaku, negativnu, statistički značajnu korelaciju sa IC_{50}^{ABTS} (r=−0,910, p=0,000) i umereno jaku, negativnu,

statistički značajnu korelaciju sa IC_{50}^{DPPH} (r=−0,759, p=0,001). Ukupni flavonoidi su takođe pokazali jaku, negativnu, statistički značajnu korelaciju sa IC_{50}^{ABTS} (r=−0,889, p=0,000) i umereno jaku, statistički značajnu, negativnu korelaciju sa IC_{50}^{DPPH} (r=−0,744, p=0,001). Ukupni flavan-3-oli su pokazali jaku, pozitivnu, statistički značajnu korelaciju sa FRAP (r=0,982, p=0,000).

5.9. Klasterska analiza

Klasterska analiza sprovedena na ispitivanim uzorcima otkrila je dva glavna klastera (slika 16). U prvom klasteru bili su sledeći uzorci celera i peršuna: C60, C90, CF, CRT, CFD, P60, P90, PF, PRT i PFD. Drugi klaster je obuhvatao uzorke kurkume: T60, T90, TF, TRT i TFD. Udaljenost između ovih klastera bila je blizu 1100. Hijerarhijska analiza klastera korišćenjem potpunog povezivanja i rastojanja city-block (Manhattan) otkriva različite grupe uzoraka među promenljivim. Prvi veći klaster, koji sadrži C60, PFD, C90, P60, P90, PF, CRT, PRT, CF i CFD, spaja se na rastojanju od ispod 100.



Slika 16. Klaster analiza uzoraka celera (zelena boja), peršuna (plava boja) i kurkume (crvena boja) prema razlikama u sadržaju polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola) i antioksidativnim testovima (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS} i FRAP)

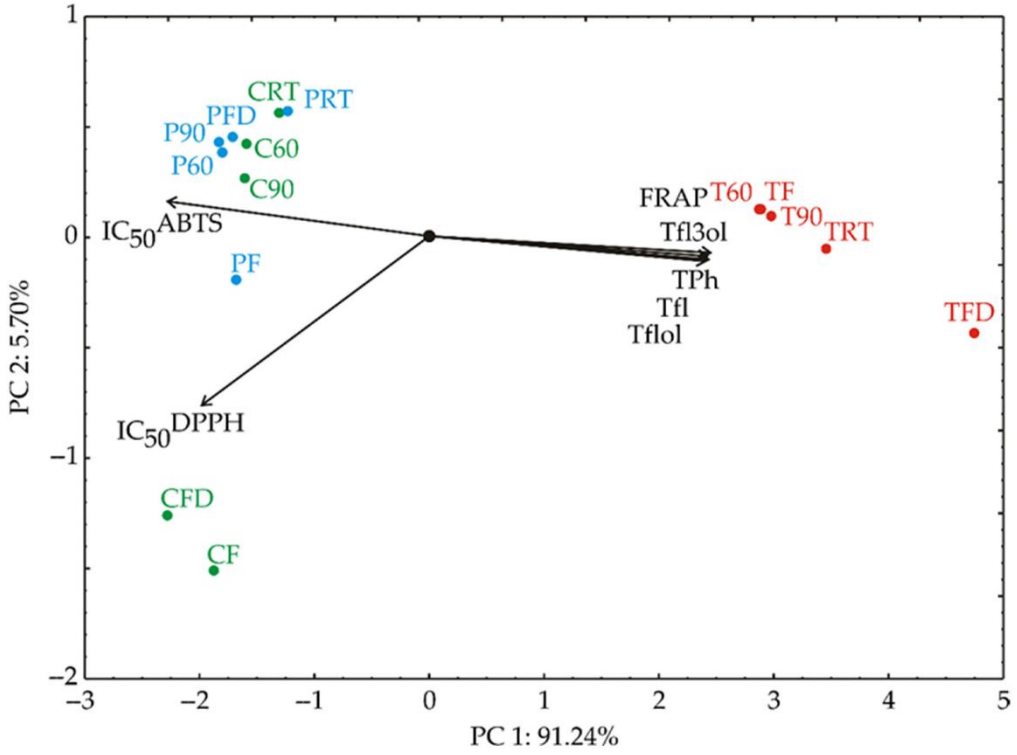
Unutar ovog klastera postoji nekoliko podgrupa: C60 i PFD pokazuju najveću sličnost, spajajući se na veoma malom rastojanju, a zatim slede C90, P60 i P90. Preostali uzorci u ovoj grupi (CRT, PRT, CF i CFD) pokazuju umerenu sličnost sa nešto većim rastojanjima. Drugi glavni klaster obuhvata uzorke T60, T90, TF, TRT i TFD, koje se spajaju na većoj udaljenosti, blizu 400. Unutar ovog klastera, T60, T90 i TF su usko povezani, dok su TRT i TFD različitiji. Veliki jaz između dva glavna klastera, koji se ogleda u značajnoj udaljenosti povezanosti (~1000), sugeriše da su osnovni podaci za ove dve grupe uzoraka znatno različiti. Ovako razdvajanje može ukazivati na značajnu različitost između grupa uzoraka. Unutar grupa, prisnije grupisanje određenih uzoraka, kao što su C60 sa PFD i T60 sa T90, ukazuje na veliku sličnost i potencijalno zajedničke osobine.

5.10. Analiza glavnih komponenti

Analiza glavnih komponenti (PCA) je korišćena za istraživanje međusobnih odnosa između različitih uzoraka, kao što je prikazano na slici 17. U ovoj analizi, blizina tačaka na grafiku ukazuje na sličnost uzoraka (Otto, 1999). Pravac vektora parametara u faktorskom prostoru otkriva korelaciju sa drugim parametrima ukoliko je ugao između vektora manji, a dužina vektora je proporcionalna kvadratu korelacije vrednosti između uklapajuće vrednosti za promenljivu i same promenljive (Kaiser i Rice, 1974). Prve dve glavne komponente objasnile su 96,94% ukupne varijanse u skupu podataka. Konkretno, prva glavna komponenta je objasnila 91,24%, dok je druga glavna komponenta objasnila 5,70% ukupne varijanse unutar prikupljenih podataka.

Pozitivni doprinosi za opisivanje prve glavne komponente (PC1) primećeni su od strane sledećih promenljivih: sadržaj ukupnih polifenola (TPh) (15,49% ukupne varijanse, na osnovu korelacija), flavonoida (Tfl) (15,38%), flavonola (Tflol) (15,07%), flavan-3-ola (Tfl3ol) (15,15%) i FRAP (15,52%). Najviši negativni doprinosi na PC1 ostvarile su promenljive IC_{50}^{ABTS} (13,31%) i IC_{50}^{DPPH} (10,08%). Nasuprot tome, promenljiva IC_{50}^{DPPH} (89,14%) je ostvarila najviši negativan doprinos na drugu glavnu komponentu (PC2), kao što je prikazano na slici 17. Biplot dijagram prikazuje vektore promenljivih (IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS}, FRAP, TPh, Tfl, Tfl3ol i Tflol) i grupe uzoraka. Parametri (promenljive) sa dužim vektorima više doprinose varijansi duž odgovarajuće ose glavnih komponenti. Smer i dužina vektora na dijagramu prikazuju

vezu između parametara i uticaj parametara na distribuciju uzoraka. Prvi klaster (T60, T90, TF, TRT i TFD) je pozitivno povezan sa parametrima kao što su FRAP, TPh, Tfl, Tflol i Tfl3ol, što sugeriše da ovi uzorci imaju visoke vrednosti za ukupne polifenole, ukupne flavonoide i srodne antioksidativne aktivnosti. Drugi klaster (C60, C90, P60, P90, PFD, CRT, PRT i PF) je pozicioniran duž negativne ose PC1, što ukazuje na jaku povezanost sa vrednostima IC_{50} za ABTS i DPPH, što sugeriše da ovi uzorci imaju relativno veće vrednosti za ove parametre.



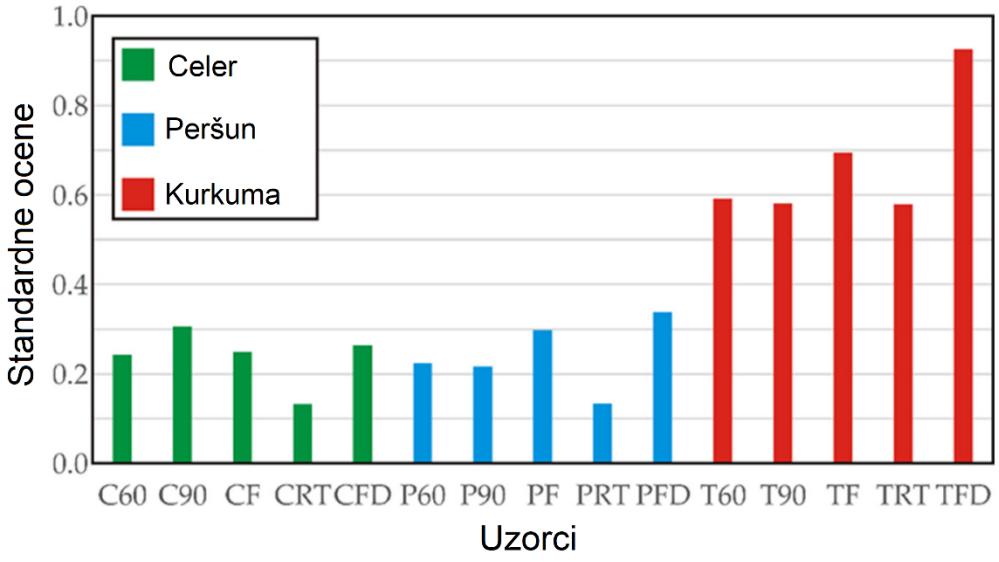
Slika 17. PCA biplot dijagram, uzoraka celera (zelena boja), peršuna (plava boja) i kurkume (crvena boja), prikazuje odnose između sadržaja polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola) kao i antioksidativnih testova IC_{50}^{DPPH}, IC_{50}^{ABTS} i FRAP.

Treći klaster (CFD i CF) se nalazi blizu donjeg levog kvadranta i na njega snažno utiče vektor IC_{50}^{DPPH}, što ukazuje da su ovi uzorci slični s obzirom na antioksidativnu aktivnost prema $DPPH^{\bullet}$ testu. Razdvajanje klastera ističe jasne razlike u hemijskim ili antioksidativnim profilima uzoraka, pri čemu su uzorci sa desne strane (prvi klaster) bogati polifenolima i flavonoidima, dok uzorci sa leve strane (drugi i treći klaster) pokazuju niži sadržaj polifenolnih jedinjenja i veće vrednosti za IC_{50} za $ABTS^{\bullet+}$ i

DPPH$^{\bullet}$ testove. Ovo grupisanje ukazuje da parametri odabrani za analizu efikasno grupišu uzorke na osnovu njihovih bioaktivnih svojstava.

5.11. Standardne ocene

Standardne ocene (SS) su izračunate kao prosečna vrednost normalizovanih rezultata svake promenljive (ukupni polifenoli, ukupni flavonoidi, ukupni flavonoli, ukupni flavan-3-oli, IC_{50}^{ABTS}, IC_{50}^{DPPH}, FRAP i parametri boje). Traženjem maksimuma SS funkcije omogućeno je određivanje optimalnog postupka sušenja. Kao što je prikazano na slici 18, uzorci C90, PFD i TFD imali su najviše SS vrednosti.



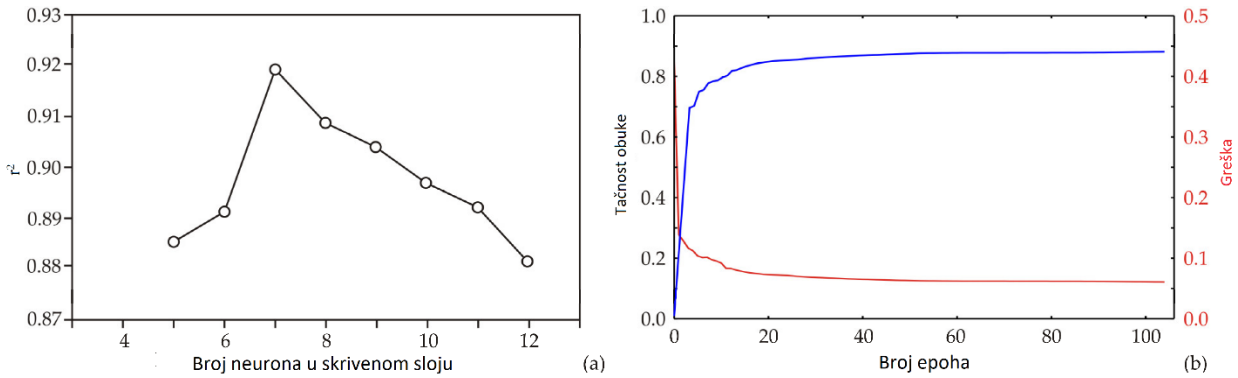
Slika 18. Standardne ocene uzoraka

Standardizovana analiza rezultata bioaktivnih jedinjenja u uzorcima celera, peršuna i kurkume otkriva značajne razlike u nivoima koncentracije ukupnih polifenola, ukupnih flavonola, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola, kao i u antioksidativnim testovima IC_{50}^{ABTS}, IC_{50}^{DPPH} i FRAP i parametrima boje L*, a* i b*. Uzorci kurkume pokazuju najviše standardne ocene, pri čemu TFD pokazuje najizraženiju vrednost (standardna ocena≈0,95), što ukazuje na njenu dominaciju u koncentraciji bioaktivnih jedinjenja i antioksidativnom kapacitetu. Ostali uzorci kurkume, kao što su TRT i TF, takođe pokazuju visoke rezultate (≈0,6–0,7). Nasuprot tome, uzorci peršuna pokazuju niže rezultate, pri čemu PF postiže višu vrednost (≈0,3), dok PRT, P60 i P90 pokazuju niže rezultate (≈0,1–0,2). Među uzorcima celera, CRT ima

najniži rezultat, a slede CF, CFD i C60 (≈0,2). Ovi nalazi ukazuju na to da uzorci kurkume, posebno TFD, sadrže znatno više koncentracije bioaktivnih jedinjenja u poređenju sa uzorcima celera i peršuna.

5.12. Modelovanje podataka primenom veštačkih neuronskih mreža

Struktura i rezultati modela veštačke neuronske mreže (ANN) su značajno pod uticajem početnih pretpostavki u vezi sa parametrima matrice, kao što su težinski koeficijenti i nulte vrednosti. Ove početne pretpostavke su ključne za precizno uklapanje modela u eksperimentalne podatke. U Prilogu 13 prikazani su elementi matrice W_1 i vektora B_1 (prikazani u redu „nulti član“, *eng*. bias), kao i elementi matrice W_2 i vektora B_2 (dat u koloni „nulti član“) za skriveni sloj i izlazni sloj. Pored toga, na performanse modela utiče broj neurona u skrivenom sloju. Da bi se ublažio uticaj slučajnih korelacija iz početnih pretpostavki i inicijalizacije težinskih koeficijenata, model je pokrenut 100 000 puta sa randomizovanim topologijama. Optimalni model, koji daje najvišu vrednost za r^2, postignut je sa sedam skrivenih neurona (slika 19a). Svaki model ANN je prošao učenje tokom 100 epoha. Tačnost učenja se povećavala sa svakim ciklusom, stabilizujući se oko 70. do 80. epohe. Učenje nakon 80 epoha mogla je dovesti do značajnog preprilagođavanja (*eng*. overfitting), dok je 80 epoha bilo dovoljno da se postigne visoka tačnost modela bez preprilagođavanja (slika 19b).

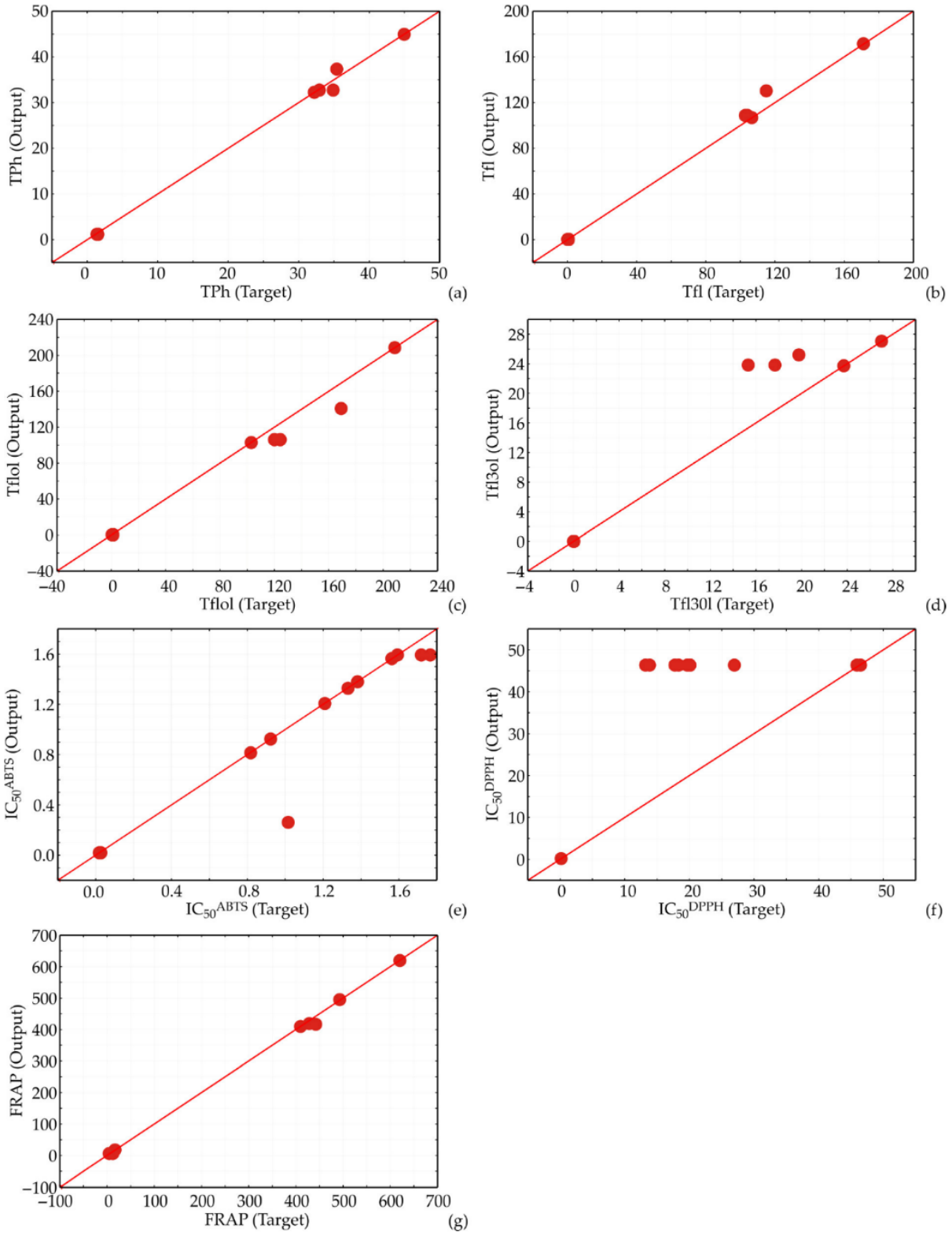


Slika 19. (a) Zavisnost vrednosti r^2 od broja neurona u skrivenom sloju u modelu veštačke neuronske mreže, (b) Tačnost učenja po epohi (tačnost učenja je predstavljena plavom linijom, dok je greška predstavljena crvenom linijom)

Optimizovani model neuronskih mreža pokazao je robusne mogućnosti generalizacije eksperimentalnih podataka, efikasno predviđajući izlaze na osnovu

ulaznih promenljivih. Koristeći konfiguraciju od sedam neurona (mreža MLP 8-7-7), model veštačkih neuronskih mreža postigao je visoke vrednosti r^2, tačnije 0,917 tokom ciklusa učenja, 1,000 tokom ciklusa testiranja i 0,998 tokom ciklusa validacije mreže. Greška ciklusa učenja bila je 214,001, greška ciklusa testiranja 412,417, a greška ciklusa validacije dostigla je vrednost od 414,368. Korišćeni algoritam učenja bio je BFGS 122, dok je funkcija greške bila suma kvadrata razlike (*eng.* Sum of Squares, SOS). Aktivaciona funkcija skrivenog sloja bila je tangens hiperbolikus, dok je aktivaciona funkcija izlaznog sloja bila logistička.

Model je efikasno obuhvatio osnovne odnose između ulaznih promenljivih i njihovih odgovarajućih izlaza, pojačavajući njihovu robusnost u predviđanju sadržaja polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti. Ovaj visok nivo slaganja sugeriše da je pristup veštačkih neuronskih mreža dobro prilagođen složenim biološkim procesima, gde preovlađuju nelinearne interakcije. Štaviše, dosledne performanse tokom ciklusa učenja, testiranja i validacije ukazuju na sposobnost generalizacije modela, što ih čini pouzdanim za šire primene u predviđanju sadržaja polifenolnih jedinjenja i antioksidativne aktivnosti (slika 20).



Slika 20. Eksperimentalne (target) i predviđene (output) vrednosti dobijene za (a) ukupne polifenole (TPh), (b) ukupne flavonoide (Tfl), (c) ukupne flavonole (Tflol), (d) ukupne flavan-3-ole (Tfl3ol), (e) IC_{50}^{ABTS}, (f) IC_{50}^{DPPH} i (g) FRAP

Testiran je kvalitet poklapanja modela sa eksperimentalnim vrednostima i sprovedena je rezidualna analiza ANN modela, što je predstavljeno u tabeli 45. Tabela pokazuje da je ANN model pokazao zadovoljavajuće predviđanje vrednosti analiziranih parametara. Visoke vrednosti koeficijenata determinacije ukazuju na činjenicu da se razvijeni ANN model može uspešno primeniti za predviđanje vrednosti analiziranih parametara. Visoke vrednosti koeficijenta determinacije (r^2) između eksperimentalnih vrednosti i vrednosti izlaza predviđenih ANN modelom za sadržaj ukupnih polifenolnih jedinjenja, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola, ukupnih flavan-3-ola, IC_{50}^{ABTS} i FRAP iznosile su 0,998, 0,997, 0,991, 0,958, 0,920 i 0,999, respektivno, što sugeriše da su modeli precizno procenili varijacije i dobro se uklopili u eksperimentalne podatke, osim u slučaju kod IC_{50}^{DPPH} (r^2 =0,591).

Tabela 45. Testovi za ispitivanje adekvatnosti modela i rezidualna analiza razvijenog ANN modela

	χ^2	*RMSE*	*MBE*	*MPE*	*SSE*	*AARD*	r^2	Skew	Kurt	Mean	StDev	Var
TPh	0,702	0,810	0,227	13,937	9,834	26,132	0,998	−0,399	6,248	0,227	0,804	0,647
Tfl	21,001	4,427	−1,548	43,590	294,019	81,732	0,997	−2,746	7,906	−1,548	4,293	18,433
Tflol	92,861	9,310	4,381	34,256	1300,053	64,231	0,991	2,135	3,848	4,381	8,503	72,298
Tfl3ol	10,182	3,083	−1,322	47,921	142,546	89,852	0,958	−1,867	2,124	−1,322	2,883	8,310
IC_{50}^{ABTS}	0,045	0,205	0,074	11,251	0,632	21,095	0,920	3,365	11,862	0,074	0,198	0,039
IC_{50}^{DPPH}	447,391	20,434	−14,78	94,546	6263,477	177,273	0,591	0,017	−2,142	−14,7/	14,607	213,364
FRAP	57,298	7,313	2,717	9,474	802,167	17,763	0,999	2,608	7,236	2,717	7,027	49,385

Napomena: χ^2 – redukovani hi-kvadrat, *RMSE* – koren srednje vrednosti kvadratne greške, *MBE* – srednja greška pristrasnosti, *MPE* –srednja vrednost procentualne greške, *SSE* – zbir kvadratnih grešaka, *AARD* – prosečno apsolutno relativno odstupanje, r^2 – koeficijent determinacije, Skew (Skewness) – odstupanje rezidualnih vrednosti od normalne raspodele; Kurt (Kurtoisis) – odstupanje rezidualnih vrednosti od „nazubljenosti“ normalne raspodele; Mean – srednja vrednost; StDev - standardna devijacija; Var – varijansa. TPh – ukupni polifenoli, Tfl – ukupni flavonoidi, Tflol – ukupni flavonoli, Tfl3ol – ukupni flavan-3-oli, IC_{50}^{ABTS} – vrednosti IC_{50} za $ABTS^{\bullet+}$ test, IC_{50}^{DPPH} – vrednosti IC_{50} za $DPPH^{\bullet}$ test, FRAP - vrednosti dobijene FRAP testom

Za sadržaj ukupnih polifenola, model je pokazao odličnu tačnost sa r^2 vrednošću od 0,998, što ukazuje na veoma visok stepen podudaranja sa eksperimentalnim podacima. Greške su bile niske, sa *RMSE* od 0,810 i *MBE* od 0,227. Srednja procentualna greška je bila 13,937%, što je relativno skromno. Raspodela grešaka je bila blago iskrivljena ulevo sa visokom kurtozom, što sugeriše na raspodelu sa izraženim vrhom. U slučaju sadržaja ukupnih flavonoida, model je takođe pokazao

visoku tačnost, sa r^2 vrednošću od 0,997. Međutim, procentualne greške su bile veće, sa *MPE* od 43,590% i *AARD* od 81,732. Raspodela grešaka ovog modela je bila znatno iskrivljena ulevo sa značajnim vrhom, što ukazuje na značajnija odstupanja od srednje vrednosti u jednom smeru. Za ukupne flavonole, model je održao dobro podudaranje sa r^2 od 0,991. Reziduali su bili viši, što se ogleda u *RMSE* od 9,310 i χ^2 od 92,861. Raspodela grešaka je bila nagnuta udesno sa umerenom kurtozom, što ukazuje da je većina grešaka bila na jednoj strani srednje vrednosti, sa raspodelom koja nije ni previše izražena ni previše ravna.

Za sadržaj ukupnih flavan-3-ola model je takođe dobro funkcionisao sa r^2 vrednošću od 0,958, što ukazuje na dobru tačnost. Greške su bile veće, sa *MPE* od 47,921% i AARD od 89,852. Raspodela grešaka je bila nagnuta ulevo sa umerenom kurtozom, što ukazuje da su greške češće bile na jednoj strani srednje vrednosti. Za IC_{50}^{ABTS}, model je pokazao razumnu tačnost sa r^2 od 0,920. Greške su bile niske, sa *RMSE* od 0,205 i χ^2 od 0,045. Raspodela grešaka je bila iskrivljena udesno sa oštrim vrhom, što ukazuje da je većina grešaka bila pozitivna i blisko grupisana oko srednje vrednosti. Nasuprot tome, za vrednosti IC_{50}^{DPPH} model je pokazao loše prediktivne performanse, sa r^2 od samo 0,591, što ukazuje na niži stepen podudaranja sa eksperimentalnim podacima. Greške su bile visoke, sa *RMSE* od 20,434 i *MPE* od 94,546%. Raspodela grešaka je bila simetrična, ali ravnija od normalne raspodele, što ukazuje na značajnu varijabilnost u predviđanjima. Konačno, za parametar FRAP model je pokazao izvanrednu prediktivnu tačnost sa r^2 od 0,999. Greške su bile minimalne, sa *RMSE* od 7,313 i *MPE* od 9,474%. Raspodela grešaka je bila iskrivljena udesno sa značajnim vrhom, što ukazuje da su greške uglavnom bile pozitivne i blisko grupisane oko srednje vrednosti. Ukratko, dok je model za sadržaj ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola, ukupnih flavan-3-ola i FRAP pokazao visoku tačnost i dobro poklapanje, model za IC_{50}^{DPPH} je značajno podbacio. Analiza raspodele grešaka dodatno je istakla varijabilnost i pouzdanost razvijenog modela, što ukazuje da model može pouzdano da predvidi vrednosti eksperimentalnih parametara, sa izuzetkom IC_{50}^{DPPH}.

5.13. HPLC analiza indivudalnih polifenolnih jedinjenja u uzorcima

Postupak sušenja može imati značajan uticaj na sadržaj sekundarnih metabolita, kao što su polifenolna jedinjenja i biološka aktivnost biljaka (Babaei Rad i sar., 2025). Polifenolna jedinjenja prisutna u biljkama, predstavljaju veliku grupu jedinjenja sa različitom hemijskom građom i molekulskom masom. Procesom sušenja mogu da se prekinu slabe hemijske ili kovalentne veze polimera odnosno da se razgrade bioaktivne komponente velike molekulske mase poput lignina, svodeći ih na male molekule. Stoga, na taj način može doći do povećanja sadržaja nekih fenolnih kiselina, sa istovremenim smanjenjem sadržaja nekih drugih bioaktivnih jedinjenja (Ratseewo i sar., 2025).

Analiza sadržaja pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u korenu celera pre i nakon sušenja prikazana je u tabeli 46. Sadržaj pojedinačnih polifenolnih jedinjenja je značajno varirao u zavisnosti od postupka sušenja. Najviša koncentracija *p*-hidroksibenzoeve kiseline i galne kiseline zabeležena je nakon sušenja na 90 °C, što ukazuje na moguću hidrolizu ovih jedinjenja iz vezanih oblika pod uticajem visoke temperature. Sadržaj *p*-hidroksibenzoeve kiseline prema istraživanju Arsenov i saradnika (2021) iznosio je 2,3 μg/g suvog ekstrakta što je više u odnosu na uzorak CF. Sadržaj galne kiseline je takođe bio niži od prijavljenih rezultata od strane Kulig i saradnika (2019), Nićetin i saradnika (2022) i Priecina i saradnika (2018) (17,6 μg/g, 6,18 μg/g_{sm} i 1,56 mg/100g_{sm}, respektivno). Autori Huang i saradnici (2024) su takođe prijavili viši sadržaj galne kiseline u konvektivno osušenim uzorcima voća u odnosu na liofilizovani i sveži uzorak, dok su autori Priecina i saradnici (2018) prijavili smanjenje sadržaja galne kiseline nakon sušenja.

Tabela 46. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u korenu celera pre i nakon sušenja

Fenolno jedinjenje ($\mu g/100g_{suve\ materije}$)	**Uzorak**				
	CF	**CRT**	**C60**	**C90**	**CFD**
p-hidroksibenzoeva kiselina	0,83±0,01^{d}	3,07±0,04^{c}	3,88±0,01^{b}	35,50±0,08^{a}	0,78±0,01^{d}
Galna kiselina	0,74±0,02^{e}	8,23±0,06^{d}	11,09±0,00^{c}	36,43±0,04^{a}	15,67±0,01^{b}
Protokatehinska kiselina	12,54±0,13^{b}	9,85±0,28^{c}	12,65±0,01^{b}	1,67±0,06^{d}	14,34±0,01^{a}
Katehin	ND	ND	ND	ND	ND
Epikatehin	ND	ND	ND	ND	ND
Kafena kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Apiin	NK	NK	NK	NK	NK
Cimetna kiselina	4,54±0,00^{a}	1,84±0,01^{d}	2,80±0,00^{b}	2,43±0,01^{c}	0,28±0,00^{e}
Ferulna kiselina	0,51±0,00^{c}	ND^{d}	1,60±0,02^{b}	2,12±0,01^{a}	ND^{d}
Apigenin	3,44±0,01^{a}	2,40±0,00^{d}	3,02±0,00^{b}	0,42±0,02^{e}	2,78±0,00^{c}
Kumarinska kiselina	ND^{e}	6,86±0,01b	4,31±0,01^{c}	4,15±0,02^{d}	8,22±0,01^{a}
Hlorogena kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Vanilinska kiselina	26,45±0,19^{c}	22,38±0,00^{d}	33,34±0,01^{a}	ND^{e}	27,22±0,01^{b}
Kvercetin	ND	ND	ND	ND	ND

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). ND – nije detektovano, NK – nije kvantifikovano.

Suprotno tome, jedinjenja kao što su apigenin i vanilinska kiselina bili su nestabilniji prema višoj temperaturi. Autori Mohd Zainol i saradnici (2009) su prijavili osetljivost apigenina u korenu *Centella asiaticana* tokom sušenja sa zagrejanim vazduhom i liofilizacijom, pri čemu je došlo do potpune degradacije ovog jedinjenja. Razgradnja fenolnih kiselina može se objasniti time što su kiseline osetljive na povišene temperature i kiseonik. To može dovesti do smanjenja sadržaja određenih jedinjenja i formiranja jednostavnijih ili složenijih oblika polifenola. Nakon konvektivnog sušenja, sadržaj *p*-hidroksibenzoeve kiseline se značajno povećao (p<0,05) u

poređenju sa svežim korenom celera. Povećanje sadržaja derivata benzoeve kiseline ili njihovih odgovarajućih antocijanidina moglo bi nastati kao rezultat oksidativne razgradnje antocijanina usled termičke i netermičke obrade. Fenolne kiseline su podložne procesima oksidacije i razgradnje. Izlaganje svetlosti, kiseoniku i toploti, uslovima koji se javljaju tokom obrade hrane, može ubrzati degradaciju fenolnih kiselina. Utvrđeno je da su hidroksicimetne kiseline (posebno trans-ferulna i trans-*p*-kumarinska kiselina) povezane estarskim vezama sa ligninom i arabinoksilanima u primarnim ćelijskim zidovima. Ove estarske veze mogu se razgraditi prethodno pomenutim uslovima i mnogim drugim mogućim mehanizmima (Priecina i sar., 2018).

Postupkom liofilizacije povećao se sadržaj protokatehinske i kumarinske kiseline, dok je sadržaj cimetne kiseline (u odnosu na CF, CRT, C60 i C90) i ferulne kiseline (u odnosu na C60 i C90) značajno opao u liofilizovanom uzorku. Autori Priecina i saradnici (2018) nisu detektovali ferulnu kiselinu u uzorcima celera, ali su objavili značajno viši sadržaj protokatehinske kiseline u osušenom uzorku korena celera, što nije primećeno u ovom istraživanju. Kumarinska kiselina nije detektovana u kontrolnom uzorku, što je bilo u skladu sa istraživanjem Arsenov i saradnika (2021) i Priecina i saradnika (2018), dok su Nićetin i saradnici (2022) i Kulig i saradnici (2019) prijavili vrednosti u iznosu od 81,54 μg/g_{sm} i 6,2 μg/g, respektivno. Sušenjem se sadržaj kumarinske kiseline povećao i to najviše u CFD uzorku (8,22 μg/100g_{sm}). Porast sadržaja *p*-kumarinske kiseline nakon sušenja korena celera prijavili su i autori Priecina i saradnici (2018). Autori Priecina i saradnici (2018) nisu takođe detektovali hlorogenu kiselinu u korenu celera, dok su autori Kulig i saradnici (2019), Nićetin i saradnici (2022) i Arsenov i saradnici (2021) prijavili vrednosti u iznosu od 123,8 μg/g, 4,50 μg/g_{sm} i 9,14 μg/g_{se}, respektivno. Sadržaj vanilinske kiseline je bio najniži u uzorku C90, verovatno zbog niske otpornosti na visoke temperature. Autori Nićetin i saradnici (2022) nisu detektovali ovo jedinjenje u korenu celera.

Katehin, epikatehin i kafena kiselina nisu detektovani ni u jednom uzorku celera. Rezultati za katehin i epikatehin bili su u skladu sa Nićetin i saradnici (2022) i Kulig i saradnici (2019), respektivno, dok je sadržaj kafene kiseline u istraživanju Nićetin i saradnika (2022), Kulig i saradnika (2019) i Arsenov i saradnika (2021) iznosio 55,46 μg/g_{sm}, 4,3 μg/g i 2,46 μg/g suvog ekstrata, respektivno. Autori Priecina i

saradnici (2018) takođe nisu detektovali kafenu kiselinu, kvercetin i epikatehin u svežem uzorku korena celera. Takođe, kvercetin nisu detektovali ni autori Kulig i saradnici (2019), dok su Nićetin i saradnici (2022) prijavili vrednost za sadržaj kvercetina u iznosu od 12,34 $\mu g/g_{sm}$ u korenu celera. U uzorcima celera, značajan pik je primećen na hromatogramu pri vremenu zadržavanja koje odgovara apiinu, ali ga nije bilo moguće kvantifikovati zbog nedostatka standarda.

Analiza sadržaja pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna pre i nakon sušenja prikazana je u tabeli 47. Analizom dobijenih rezultata primećene su značajne razlike u sadržaju pojedinačnih polifenolnih jedinjenja među ispitivanim uzorcima. Najširi spektar polifenolnih jedinjenja zabeležen je u uzorku PFD.

Tabela 47. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u korenu peršuna pre i nakon sušenja

Fenolno jedinjenje	**Uzorak**				
($\mu g/100g_{suve\ materije}$)	**PF**	**PRT**	**P60**	**P90**	**PFD**
p-hidroksibenzoeva kiselina	0,42±0,01^{c}	0,36±0,01^{c}	0,37±0,18^{c}	1,04±0,10^{b}	8,92±0,04^{a}
Galna kiselina	2,90±0,07^{b}	1,07±0,00^{d}	1,96±0,26^{c}	2,78±0,03^{b}	4,19±0,07^{a}
Protokatehinska kiselina	3,12±0,01^{b}	0,65±0,08^{d}	1,69±0,43^{c}	1,35±0,02^{c}	22,17±0,07^{a}
Katehin	6,44±0,05^{b}	1,39±0,02^{b}	8,88±8,44^{b}	20,33±0,10^{a}	5,09±0,06^{b}
Epikatehin	ND^{c}	9,71±0,46^{a}	ND^{c}	ND^{c}	6,06±0,12^{b}
Kafena kiselina	ND^{a}	ND^{a}	ND^{a}	ND^{a}	2,87±0,01^{b}
Apiin	NK	NK	NK	NK	NK
Cimetna kiselina	ND^{d}	0,21±0,00^{c}	0,07±0,13^{c,d}	0,38±0,00^{b}	4,47±0,02^{a}
Ferulna kiselina	95,06±0,94^{a}	7,52±0,41^{d}	35,27±0,29^{c}	36,67±0,10^{b}	34,37±0,03^{c}
Apigenin	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	4,19±0,03^{a}
Kumarinska kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Hlorogena kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Vanilinska kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Kvercetin	ND	ND	ND	ND	ND

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). ND – nije detektovano, NK – nije kvantifikovano.

p-hidroksibenzoeva, galna i protokatehinska kiselina detektovane su u svim uzorcima, ali je u uzorku PFD njihov sadržaj bio najviši, i do nekoliko puta. U radu Arsenov i saradnici (2021) *p*-hidroksibenzoeva kiselina nije bila detektovana u ekstraktu korena peršuna. Cimetna kiselina nije detektovana u kontrolnom uzorku, a najviši sadržaj je bio u uzorku PFD (4,47 μg/100g_{sm}). U kontrolnom uzorku uočena je najviša koncentracija ferulne kiseline (95,06 μg/100g_{sm}), a najniža u uzorku PRT (7,52 μg/100g_{sm}). Osetljivost ferulne kiseline na povišene temperature potvrdili su i autori López-Vidaña i saradnici (2017). Prema pomenutim autorima, dekarboksilacijom ferulne kiseline i brzom dimerizacijom 4-vinilgvajakola pod uslovima visoke temperature može doći do povećanja antioksidativnog kapaciteta finalnog proizvoda.

Tokom liofilizacije, ponekad postoji potreba za dužim vremenom sušenja u poređenju sa konvencionalnim metodama sušenja. Zbog toga, tokom sušenja liofilizacijom, postoji mogućnost redukcije sadržaja bioaktivnih jedinjenja (Shofian i sar., 2011). Sušenje na povišenim temperaturama može izazvati oksidativnu kondenzaciju ili razgradnju termolabilnih polifenolnih jedinjenja. Neki lako isparljivi polifenoli mogu se izgubiti isparavanjem na višim temperaturama. Takođe, na visokim temperaturama određeni polifenoli (npr. kondenzovani tanini) mogu se jednostavno razgraditi ili kombinovati sa drugim biljnim komponentama, što otežava njihovo izdvajanje tokom ekstrakcije. S druge strane, sušenje liofilizacijom može dovesti do veće efikasnosti ekstrakcije polifenolnih jedinjenja jer tokom sušenja dolazi do razvića kristala leda unutar sirovine. Kristali leda mogu dovesti do veće poroznosti strukture osušenog materijala, što može omogućiti bolji pristup rastvaraču, a samim tim i ekstrakciju (Nakbanpote i sar., 2019). Prema istraživanju Arsenov i saradnici (2021) od fenolnih kiselina ferulna je bila najdominantnija, što je u skladu sa ovim istraživanjem. Takođe, isti autori su prijavili da je apiin bio najdominantnije polifenolno jedinjenje u ekstraktu korena peršuna (2266,3 μg/g). Kafena kiselina i apigenin detektovani su samo u liofilizovanom uzorku u koncentraciji od 2,87 i 4,19 μg/100g_{sm}, respektivno, dok su Arsenov i saradnici (2021) u svežem korenu peršuna prijavili vrednosti od 2,84 i 10,83 μg/g_{sm}. Hlorogena kiselina, vanilinska kiselina i kvercetin nisu detektovani u korenu peršuna. Arsenov i

saradnici (2021) su prijavili vrednost za sadržaj hlorogene kiseline u iznosu od 9,83 μg/g suvog ekstrakta.

Analiza sadržaja pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u rizomu kurkuma pre i nakon sušenja prikazana je u tabeli 48. U odnosu na prethodna dva uzorka, u rizomu kurkume uočen je širi spektar polifenolnih jedinjenja. Kvercetin je bio najdominantiji u svim uzorcima (osim u uzorku TFD gde je bio najdominantniji katehin) sa najvišom koncentracijom u kontrolnom uzorku 17,57 μg/100g_{sm}, dok se sušenjem sadržaj kvercetina redukovao do 2,05 μg/100g_{sm} u uzorku TFD. Autori Pal i saradnici (2020) su takođe prijavili da je kvercetin bio najdominantije polifenolno (flavonoidno) jedinjenje u rizomu kurkume (2746,21 mg/kg). Autori Yang i saradnici (2020) su prijavili vrednost za kvercetin u iznosu od 4,78 mg/100g_{se}, dok autori Ghasemzadeh i saradnici (2012) i Muflihah i saradnici (2021) nisu detektovali.

Tabela 48. Sadržaj analiziranih polifenolnih jedinjenja u rizomu kurkume pre i nakon sušenja

Fenolno jedinjenje	**Uzorak**				
(μg/100g$_{suve\ materije}$)	**TF**	**TRT**	**T60**	**T90**	**TFD**
p-hidroksibenzoeva kiselina	2,87±0,00^{a}	1,22±0,16^{b}	2,93±0,20^{a}	3,09±0,01^{a}	3,16±0,02^{a}
Galna kiselina	1,73±0,03^{c}	1,10±0,15^{d}	2,63±0,30^{b}	3,50±0,01^{a}	2,42±0,02^{b}
Protokatehinska kiselina	ND^{c}	ND^{c}	0,14±0,04^{b}	0,16±0,00^{b}	4,32±0,07^{a}
Katehin	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	4,92±0,04^{a}
Epikatehin	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	4,12±0,03^{a}
Kafena kiselina	ND	ND	ND	ND	ND
Kurkumin	NK	NK	NK	NK	NK
Cimetna kiselina	0,46±0,00^{b}	0,31±0,04^{c}	1,57±0,03^{a}	1,57±0,01^{a}	1,58±0,02^{a}
Ferulna kiselina	2,77±0,00^{a}	1,85±0,25^{b}	1,39±0,03^{c}	1,39±0,00^{c}	1,45±0,04^{c}
Apigenin	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	ND^{b}	0,79±0,01^{a}
Kumarinska kiselina	0,23±0,00^{d}	1,44±0,19^{b}	0,58±0,04^{c}	0,57±0,00^{c}	2,94±0,02^{a}
Hlorogena kiselina	1,21±0,00^{a}	0,26±0,21^{b}	0,91±0,13^{a}	1,00±0,00^{a}	0,50±0,01^{b}
Vanilinska kiselina	0,67±0,00^{d}	1,24±0,00^{c}	2,04±0,05^{b}	2,10±0,00^{b}	2,26±0,02^{a}
Kvercetin	17,57±1,10^{a}	7,92±0,00^{c}	10,53±1,03^{b}	11,28±0,01^{b}	2,05±0,10^{d}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istom redu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). ND – nije detektovano., NK – nije kvantifikovano.

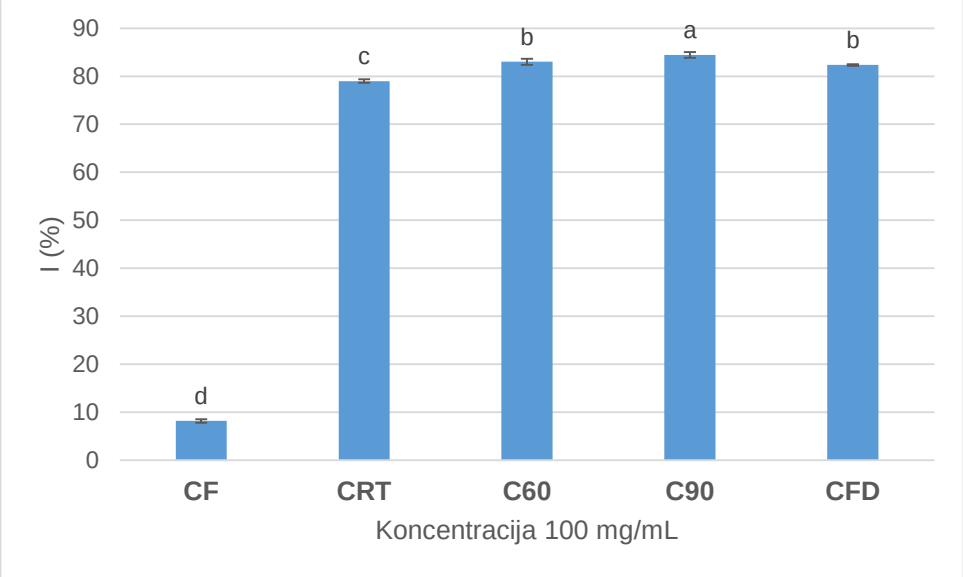
Katehin, epikatehin i apigenin su se pojavili samo u liofilizovanom uzorku rizoma kurkume. Autori Ghasemzadeh i saradnici (2012) nisu detektovali apigenin i katehin, dok su autori Pal i saradnici (2020) i Yang i saradnici (2020) prijavili vrednosti za sadržaj katehina u iznosu od 107,67 mg/kg i 20,3 mg/100g$_{se}$, respektivno. Kafena kiselina nije zabeležena ni u jednom uzorku rizoma kurkume, dok su autori Pal i saradnici (2020) prijavili sadržaj u iznosu od 121 mg/kg. Primećeno je da je sadržaj *p*-hidroksibenzoeve kiseline, galne i cimetne kiseline najniži bio u uzorku TRT, a da je bio viši u uzorcima T60, T90 i TFD u odnosu na kontrolni uzorak. Sadržaj galne kiseline je bio niži u odnosu na radove Pal i saradnika (2020) i Yang i saradnika (2020), a viši u odnosu na Muflihah i saradnika (2021). Takođe sadržaj cimetne kiseline je bio niži u odnosu na istraživanja Pal i saradnika (2020) i Yang i saradnika (2020). Koncentracije ferulne i hlorogene kiseline su bile najviše u kontrolnom

uzorku rizoma kurkume, dok su suprotno, koncentracije kumarinske, vanilinske kiseline i protokatehinske (nije detektovana u TF) bile više u uzorcima T60, T90 i TFD. Sadržaj ferulne kiseline bio je niži u odnosu na istraživanje Pal i saradnika (2020) i Yang i saradnika (2020) (473,94 mg/kg, 187 mg/100g_{se}, respektivno), a viši u odnosu na Muflihah i saradnika (2021) (nisu detektovali). Sadržaj kumarinske i vanilinske kiseline je bio niži u odnosu na istraživanje Pal i saradnika (2020). U uzorcima kurkume, na hromatogramu su primećeni pikovi u vremenima zadržavanja koji odgovaraju kurkuminoidima, karakterističnim jedinjenjima za kurkumu, ali ih nije bilo moguće kvantifikovati zbog nedostatka standarda.

Kao što se može videti iz prethodnih rezultata, uzorci celera, peršuna i kurkume sadržavali su niz različitih polifenolnih jedinjenja za koja se zna da su korisna za ljudsko zdravlje, a koja su ostala u ispitivanim uzorcima i nakon sušenja, povećavajući nutritivnu vrednost začina.

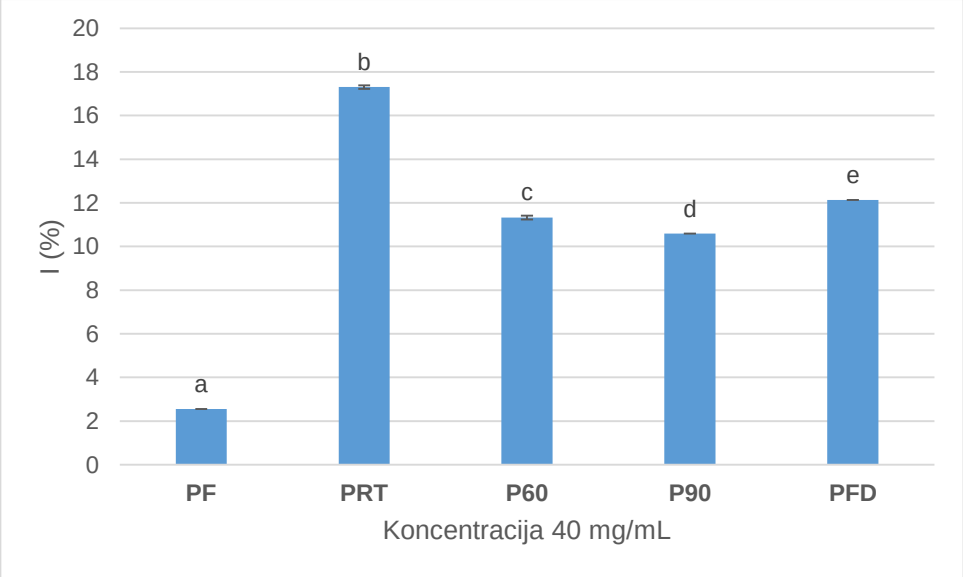
5.14. Antihiperglikemijska aktivnost uzoraka

Inhibicijom α-glukozidaze može da se reguliše nivo glukoze u krvi nakon obroka odlaganjem apsorpcije ugljenih hidrata, čime se pospešuje glikemijska kontrola i smanjuje rizik od hiperglikemije kod osoba sa dijabetesom (Samson i Garber, 2016). Antihiperglikemijske aktivnosti uzoraka celera prikazane su na slici 21. Pri koncentraciji od 100 mg/mL uzorak C90 inhibirao je najviši procenat enzima (p<0,05), dok je najslabiju antihiperglikemijsku aktivnost posedovao uzorak CF (p<0,05). Najslabija aktivnost kontrolnog uzorka je verovatno posledica niskog sadržaja suve materije u odnosu na osušene uzorke. Među osušenim uzorcima, uzorak CRT je inhibirao najniži procenat enzima α-glukozidaze, dok se vrednosti za procenat inhibicije kod uzoraka C60 i CFD nisu statistički značajno razlikovale (p>0,05). U pretraženoj i dostupnoj literaturi, postoji malo podataka o antihiperglikemijskoj aktivnosti celera. Prema autorima Wu i saradnici (2015) stabljika celera nije pokazala antihiperglikemijsku aktivnost. Takođe, prema autorima Syabana i saradnici (2020) listovi celera su prikazali izrazito nisku antihiperglikemijsku aktivnost inhibicijom α-glukozidaze pri koncentraciji od 90,90 µg/mL u iznosu od 0,22%.



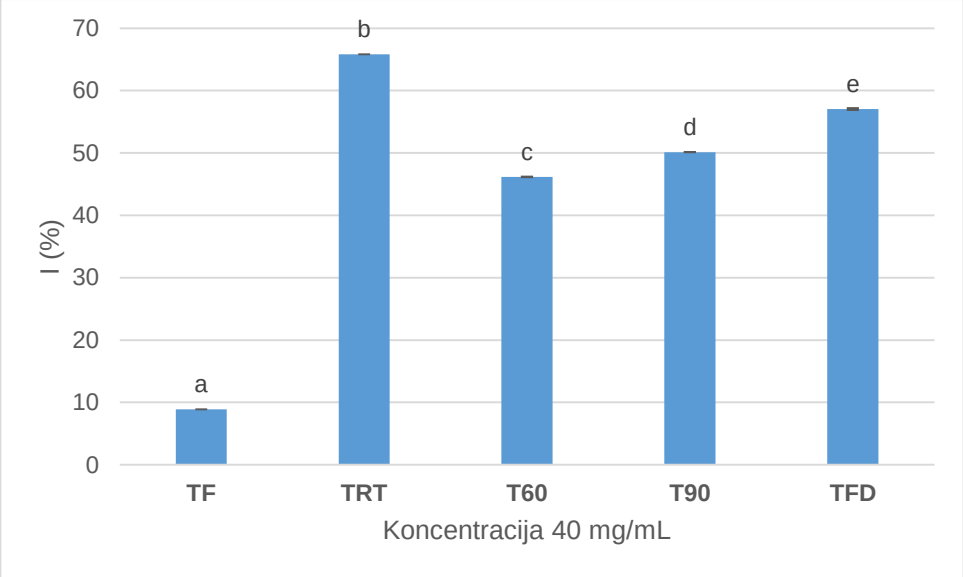
Slika 21. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka celera pre i nakon sušenja. Različita slova iznad stubova označavaju statistički značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD post hoc testu (p<0,05).

Antihiperglikemijske aktivnosti uzoraka peršuna prikazane su na slici 22. Slično kao i kod celera, najslabiju antihiperglikemijsku aktivnost pri koncentraciji od 40 mg/mL pokazao je uzorak PF (p<0,05), dok je najviši procenat inhibicije enzima ostvaren kod uzorka PRT (p<0,05). Uzorak PFD u odnosu na uzorak TFD pri istoj koncentraciji pokazao je približno 5 puta slabiji potencijal za inhibiciju ovog enzima. U trenutno dostupnoj literaturi nisu pronađene studije o uticaju korena peršuna na inhibiciju enzima i antihiperglikemijsku aktivnost *in vitro.* Prema autorima Harbi i Hussain (2015) ekstrakt lišća peršuna pri koncentraciji od 800 µg/mL inhibirao je oko 80% enzima α-glukozidaze, što upućuje na izraženiju antihiperglikemijsku aktivnost u odnosu na koren peršuna, ali sa napomenom da su autori koristili drugu metodu za određivanje antihiperglikemijskog efekta *in vitro*.



Slika 22. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka peršuna pre i nakon sušenja. Različita slova iznad stubova označavaju statistički značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD post hoc testu (p<0,05).

Antihiperglikemijske aktivnosti uzoraka kurkume prikazane su na slici 23. U poređenju sa prethodna dva uzorka, rizom kurkume je imao najizraženiju antihiperglikemijsku aktivnost. Kao i kod prethodna dva uzorka, najslabiju antihiperglikemijsku aktivnost pri koncentraciji od 40 mg/mL pokazao je uzorak TF (p<0,05), dok je najviši procenat inhibicije enzima ostvaren kod uzorka TRT (p<0,05). Među osušenim uzorcima rizoma kurkume, najslabiju aktivnost pokazao je uzorak T60 (46,16%), potom uzorci T90 (50,13%) i TFD (57,03%) (p<0,05). Autori Wongsa i saradnici (2012) su za rizom kurkume, prethodno osušen na 50 °C i pri koncentraciji ekstrakta u iznosu od 50 mg/mL, prijavili procenat inhibicije α-glukozidaze u iznosu od oko 70%, za šta se može reći da je bilo u skladu sa rezultatima dobijenim za osušene uzorke u ovom istraživanju (pri koncentraciji od 40 mg/mL). Autori Ranilla i saradnici (2010) su prijavili za vodeni ekstrakt rizoma kurkume procenat inhibicije u iznosu od oko 50% pri koncentraciji od 2,5 mg/mL. Značajno bolju antihiperglikemijsku aktivnost za vodeni ekstrakt kurkume prijavili su Lekshmi i saradnici (2014), gde je ekstrakt pri koncentraciji od samo 12,6 µg/mL inhibirao 50% enzima. Uzorak kurkume imao je najvišu koncentraciju ukupnih polifenola u poređenju sa dva druga testirana uzorka. Prethodne studije su potvrdile visoku korelaciju između ukupnog sadržaja polifenola i inhibicije aktivnosti α-glukozidaze (Takó i sar., 2020; Xiong i sar., 2020).



Slika 23. Antihiperglikemijska aktivnost (I (%)) uzoraka kurkume pre i nakon sušenja. Različita slova iznad stubova označavaju statistički značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD post hoc testu (p<0,05).

5.15. Antibakterijska aktivnost uzoraka

Za razilku od ekstrakata korena celera i peršuna, samo su ekstrakti kurkume pokazali antibakterijsku aktivnost i to protiv *S. aureus* (tabela 49). Singh i saradnici (2017) su izvestili o slabijoj antibakterijskoj aktivnosti (6,3 mm) protiv *S. aureus* u poređenju sa aktivnošću etanolnog ekstrakta rizoma kurkume pri koncentraciji od 100 mg/mL u ovom istraživanju. S druge strane, Wada i saradnici (2021) su izvestili o višoj vrednosti zone inhibicije (13 mm) protiv *S. aureus* za etanolni ekstrakt rizoma kurkume pri koncentraciji od 100 mg/mL. TFD uzorak nije pokazao antibakterijsku aktivnost protiv *E. coli*, što je bilo u skladu sa istraživanjem Wada i saradnika (2021). Gram-negativne bakterije su manje podložne uticaju biljnih ekstrakata zbog prisustva spoljašnje membrane, koja sadrži lipopolisaharide i predstavlja zaštitnu barijeru koja sprečava difuziju toksičnih i hidrofobnih supstanci (Ebbensgaard i sar., 2018; Safian i sar., 2022). Uzorci celera i peršuna nisu pokazali nikakvu antibakterijsku aktivnost protiv testiranih mikroorganizama, verovatno zbog značajno nižeg sadržaja polifenolnih jedinjenja u ovim uzorcima u poređenju sa uzorcima kurkume.

Tabela 49. Antimikrobna aktivnost uzoraka kurkume pre i nakon sušenja protiv *E. coli* i *S. aureus*

Naziv uzorka	Zona inhibicije (mm)	
	***E. coli* ATCC 25922**	***S. aureus* ATCC 25923**
TF	ND	11,33±0,58[a]
TRT	ND	9,33±1,15[a,b]
T60	ND	10,00±1,00[a,b]
T90	ND	10,00±1,00[a,b]
TFD	ND	8,67±0,58[b]
Pozitivna kontrola (30 µg cefotaksima/10 µg klavulanske kiseline po disku)	34,87±0,35	37,30±0,75
Negativna kontrola (destilovana voda)	ND	ND
Negativna kontrola (40% etanol)	ND	ND

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05). ND–nije detektovano.

Poznato je da mnogi biljni sekundarni metaboliti, kao što su fenolne kiseline i flavonoidi, pokazuju antimikrobno dejstvo. Ovu aktivnost postižu kroz različite mehanizme uticajem na sintezu proteina, metaboličke procese u ćelijskom zidu bakterija ili inhibiranjem sinteze ATP-a i DNK (Efenberger-Szmechtyk i sar., 2021; Takó i sar., 2020). Kao što je prethodno već rečeno, ekstrakti korena celera i peršuna nisu pokazali antimikrobnu aktivnost prema testiranim vrstama bakterija. U drugim istraživanjima je prijavljeno da je ekstrakt korena celera ostvario zonu inhibicije od 9 mm protiv *S. aureus* i vrednost MIC pri koncentraciji od 250 µg/mL (Aboody, 2021). Autori Đurović i saradnici (2023) su prijavili minimalnu inhibitornu koncentraciju protiv *S. aureus* u iznosu od 100 mg/mL. S druge strane, ekstrakt nije pokazao značajnu aktivnost protiv gram-negativnih bakterija kao što su *Escherichia coli*, za koju je MIC iznosio više od 200 mg/mL (Đurović i sar., 2023). U pretraženoj literaturi, nisu pronađeni podaci o antimikrobnoj aktivnosti korena peršuna. Istraživanja su provođena samo na nadzemnim delovima peršuna, kao i semenkama i eteričnim uljem. Prema istraživanju Ahmed i saradnici (2021), 70% etanolni ekstrakt

nadzemnih delova peršuna nije pokazao antimikrobni efekat na *S. aureus*, dok je protiv *E. coli* ustanovljena zona inhibicije od 8 mm.

5.16. Optimizacija formulacije smeše začinskog bilja

Nakon izbora optimalnog postupka sušenja za uzorke korena celera, peršuna i rizoma kurkume pristupljeno je optimizaciji smeše začinskog bilja koja će se sastojati od ove tri komponennte. U tu svrhu korišćen je simplex-lattice dizajn prema kome je formulisano 10 uzoraka sa različitim udelima korenasto-krtolastih začinskih biljaka, a na osnovu kojih će biti odabrana optimalna formulacija.

5.16.1. Osnovni hemijski sastav, vrednosti parametara boje i ocene senzorske usaglašenosti smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka

Osnovni hemijski sastav, vrednosti parametara boje i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka prikazani su u tabeli 50. Statističkom analizom osnovnog hemijskog sastava deset uzoraka odabranih korenasto-krtolastih začinskih biljaka, koji se razlikuju po udelu celera, peršuna i kurkume, uočena je značajna razlika u sadržaju sirovih proteina, pepela i sirovih masti u odnosu na vrstu i količinu pojedinačnih biljnih vrsta u svakoj mešavini. Uočeno je da je u uzorku CO, odnosno u uzorku korena celera, sadržaj sirovih proteina najviši (13,88%), a da je u kurkumi, odnosno u uzorku TO sadržaj sirovih proteina najniži i iznosi 4,76%. Smeše sa većim udelom celera, kao što su CT8 i CP9, takođe su imale više vrednosti proteina, dok su uzorci u kojima je dominirao koren peršuna imali umerene vrednosti proteina. S druge strane, smeše sa visokim udelom kurkume (TO, PT2 i CT5) imale su najniži sadržaj sirovih proteina. Sličan trend je zabeležen i za sadržaj pepela. Naime, najviši sadržaj pepela primećen je u uzorku korena celera CO (11,39%), a najniži u kurkumi TO (5,83%), pa su stoga smeše sa većim udelom celera (CT8, CP9) imale i viši sadržaj mineralnih materija, dok je sa povećanjem udela kurkuma njihov sadržaj redukovan. Za razliku od proteina i pepela, sadržaj sirovih masti bio je najviši u uzorku kurkume (7,88%), dok je najniža vrednost masti nađena u uzorku CO (0,96%). Stoga, uzorci smeša koji su sadržavali veći procenat kurkume u sastavu, posedovali su i veću količinu sirovih masti, i obrnuto, smeše koje su sadržavale veći procenat korena celera u sastavu posedovali su nižu količinu sirovih masti.

Što se tiče parametara boje, vrednost parametra L* je bila najniža u TO uzorku (68,15) i najviša u CO uzorku (84,64), što sugeriše da maseni udeli ovih komponenti mogu uticati na svetlinu smeše u koju su uključene. Vrednosti parametra a*, koji predstavlja zeleno/crveni spektar, smanjile su se sa 12,72 u TO uzorku na negativne vrednosti u PO, CP7, CP9 i CO uzorcima (−0,42 do −0,26), što ukazuje na pomeranje ka zelenim tonovima sa dodatkom celera i peršuna kurkumi. Vrednosti b*, koje ukazuju na plavo/žuti spektar, takođe su bile najviše u TO uzorku (62,01) i najniže u CO uzorku (19,27), što odražava smanjenje udela žute boje sa smanjenjem sadržaja kurkume u mešavinama. Vrednosti hrome (zasićenost boje) (C*) pratile su sličan obrazac, sa najvećom hromom u TO uzorku (63,30) i najnižim u CO uzorku (19,27). S druge strane, ugao nijanse (h) varirao je od 78,41° u uzorku TO do 90,77° u uzorku CO. Generalno, statistička analiza ističe značajne varijacije u sadržaju proteina, pepela i masti, kao i atributima boje u različitim mešavinama, ističući uticaj svake komponente na nutritivna i vizuelna svojstva formulacija.

Tabela 50. Osnovni hemijski sastav, vrednosti parametara boje i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka

Uzorak	Sirovi proteini (%)	Pepeo (%)	Sirove masti (%)	Ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta	L*	a*	b*	C*	h
TO	4,76±0,08^{a}	5,83±0,02^{a}	7,88±0,12^{j}	4,00±0,74^{a}	68,15±1,38^{a}	12,72±0,87^{d}	62,01±0,34^{e}	63,30±0,45^{e}	78,41±0,75^{a}
PT2	6,77±0,25^{b}	6,45±0,11^{b}	5,85±0,09^{i}	4,42±0,51^{a}	70,56±0,28^{b}	11,54±0,24^{c}	55,83±0,42^{d}	57,01±0,39^{d}	78,33±0,29^{a}
PT3	8,84±0,13^{d}	7,09±0,15^{c}	3,85±0,05^{g}	3,67±0,49^{a,b}	74,25±0,54^{c}	7,97±0,45^{b}	45,55±0,41^{c}	46,25±0,48^{c}	80,08±0,46^{b}
PO	11,00±0,22^{f}	7,74±0,24^{d}	1,83±0,03^{d}	4,17±0,72^{a,b}	82,89±0,20^{d}	-0,42±0,04^{a}	20,81±0,22^{b}	20,81±0,22^{b}	91,16±0,11^{c}
CT5	7,77±0,05^{c}	7,70±0,06^{d}	5,56±0,05^{h}	4,25±0,45^{b,c}	70,73±0,31^{b}	11,58±0,21^{c}	55,81±0,76^{d}	57,00±0,77^{d}	78,28±0,11^{a}
CPT6	9,87±0,12^{e}	8,32±0,21^{e}	3,55±0,04^{f}	3,58±0,51^{b,c}	74,79±0,10^{c}	7,82±0,08^{b}	45,69±0,30^{c}	46,36±0,30^{c}	80,29±0,11^{b}
CP7	11,85±0,10^{g}	9,03±0,14^{f}	1,54±0,03^{c}	3,25±0,45^{c,d}	83,06±0,16^{d}	-0,35±0,10^{a}	21,16±0,34^{b}	21,17±0,34^{b}	90,94±0,26^{c}
CT8	10,62±0,15^{f}	9,56±0,16^{g}	3,30±0,03^{e}	3,17±0,58^{c,d}	74,55±0,32^{c}	8,12±0,18^{b}	45,89±0,55^{c}	46,61±0,56^{c}	79,96±0,16^{b}
CP9	12,85±0,05^{h}	10,17±0,09^{h}	1,28±0,01^{b}	2,67±0,49^{c,d}	83,75±0,17^{d,e}	-0,32±0,03^{a}	20,38±0,21^{a,b}	20,38±0,22^{a,b}	90,92±0,09^{c}
CO	13,88±0,12^{i}	11,39±0,15^{i}	0,96±0,02^{a}	2,75±0,62^{d}	84,64±0,33^{e}	-0,26±0,04^{a}	19,27±0,25^{a}	19,27±0,25^{a}	90,77±0,12^{c}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05).

Senzorska svojstva novog prehrambenog proizvoda su veoma važni parametri kvaliteta i u velikoj meri utiču na interesovanje potrošača i učestalost prodaje. Aromatične komponente su generalno prisutne u relativno malim količinama u prehrambenim proizvodima, pri koncentracijama reda mg/kg ili čak nižim koncentracijama, a koje može da detektuje ljudski olfaktorni sistem (Jeleń, 2012). Sušeno bilje se obično koristi kao dodatak jelima, bilo da bi se poboljšale njihove postojeće karakteristike ili da bi se dobila nova, privlačnija aroma (Murray i sar., 2001). Procenom usaglašenosti senzorskog kvaliteta vodenih rastvora aromatičnih korenasto-krtolastih biljaka, identifikovane su određene razlike, kao što je prikazano u tabeli 50. Deskriptivna senzorska analiza je olakšala identifikaciju ključnih senzorskih atributa za različite smeše, omogućavajući razvoj preciznog senzorskog profila za svaku od njih. Deskriptivna analiza je korišćena za procenu intenziteta ključnih atributa u mešavinama pripremljenim sa tri aromatične korenasto-krtolaste biljke korišćene u eksperimentu u različitim proporcijama. Pored toga, ocenjena je i usaglašenost mirisa, arome i ukusa, prateći propisanu proceduru i koristeći skalu u rasponu od 5 (odlično) do 1 (loše), predstavljene u Prilozima 11 i 12.

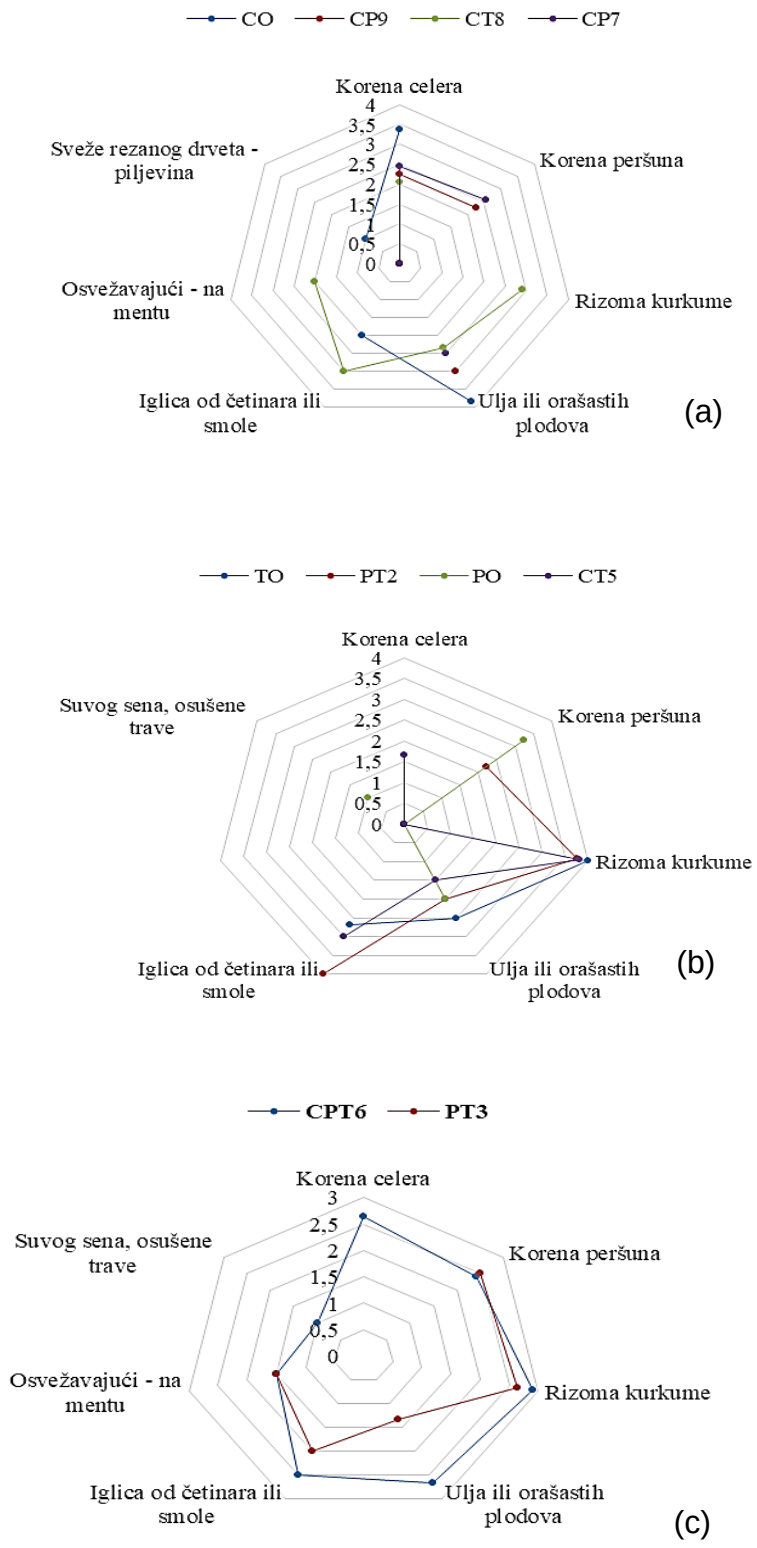
Uzorak PT2 imao je najvišu prosečnu ocenu ukupnog senzorskog kvaliteta (4,42), odmah zatim sledio je uzorak CT5 (4,25), a potom uzorci PO (4,17) i TO (4,00). Međutim, razlike među ovim uzorcima nisu bile statistički značajne (p>0,05). Uzorak PT2 je nudio prijatnu kombinaciju osvežavajućih (2,30) i blago iritirajućih (2,00) nadražaja u ustima. Njegova ukupna aroma je bila harmonična, okarakterisana suptilnim, ali primetnim mirisom i ukusom korena peršuna (2,22) i blago izraženom neprijatnom aromom ulja (2,00). Takođe, imao je i izraženu aromu rizoma kurkume (3,75) i iglica/smole četinara (4,00), koje potiču iz kurkume. Uzorak CT5 je imao veoma prijatnu i harmoničnu aromu, sa dominantnom, jasnom aromom rizoma kurkume (3,82), upotpunjenom blago izraženom aromom korena celera (1,67). Umereno izražene osvežavajuće note mente (2,67) i iglica ili smole četinara (3,00) doprinele su prijatnoj aromi. Međutim, prisustvo uljaste arome u ustima je ograničavajući faktor, koja je bila blago izražena (1,50), praćena osvežavajućim osećajem u ustima (2,87). Aroma uzorka PO može se opisati kao kombinacija umereno izražene arome korena peršuna (3,25) i blago izražene arome ulja (2,0). Ukus je bio blago slan (1,75) sa veoma blago izraženim (1,43) osvežavajućim

utiskom u ustima, što značajno utiče na ukupni utisak o senzorskom kvaliteu vodenog rastvora ove mešavine.

Uzorak TO je imao intenzivnu aromu rizoma kurkume (3,98). Umereno osvežavajući osećaj u ustima (2,71) pripisuje se harmoniji između ovih aroma i arome mente koja je bila intenzivno izražena (3,88) i arome iglica četinara ili smole (2,67), sa uljastom aromom u ustima na kraju (2,50). S druge strane, senzorska analiza je pokazala da uzorak CP9 ima relativno najnižu prosečnu ocenu usaglašenosti senzorskog kvaliteta (2,67), ali se nije statistički značajno razlikovao (p>0,05) od uzoraka CO (2,75), CP7 (3,25) i CT8 (3,17). U uzorku CP9, aroma ulja je identifikovana kao najdominantnija (3,00), a dopunjena je blago izraženim aromama korena peršuna (2,27) i korena celera (2,25). Ukupan utisak u ustima je ocenjen kao neprijatan, bljutav (2,13). Uzorak CO je ocenjen kao uzorak sa intenzivnom, izraženom i prepoznatljivom aromom korena celera (3,38), međutim, dominantan uljasti osećaj u ustima, praćen izraženom aromom ulja (3,83), aromom piljevine (1,00) i bljutavim ukusom (3,00) negativno utiču na opšti senzorski utisak.

Mešavina CP7 je okarakterisana po svojoj prijatnoj aromi, sa prepoznatljivim, ali blagim aromama korena peršuna (2,55) i korena celera (2,44). Međutim, uzorak je opisan kao bljutav (2,00), bez jasno definisanih modaliteta ukusa, sa prisutnim uljastim osećajem u ustima (2,50). Mešavina CT8 imala je umereno izraženu aromu rizoma kurkume (2,91) i osvežavajući utisak u ustima (1,50), koji verovatno potiče od izražene arome smole četinara (3,0). Međutim, uljasta aroma (2,33) koja se pripisuje celeru negativno utiče na ukupni utisak i ostavlja naknadni neprijatan osećaj u ustima. Uporedni prikaz intenziteta ključnih senzorskih atributa prikazan je na slici 24. Uzorci PT3 i CPT6 pokazali su veoma dobar kvalitet, bez statistički značajne razlike (p>0,05), sa ostvarenim prosečnim ocenama od 3,67 i 3,58, respektivno. U smeši PT3 zapažena je blaga aroma rizoma kurkume (2,65) sa nešto slabije izraženom aromom korena peršuna (2,50). U uzorku mešavine CPT6 detektovana je blaga aroma korena peršuna (2,41) i korena celera (2,63), kao i blaga aroma rizoma kurkume (2,91), sa istovremeno blago izraženom uljastom aromom (2,67) i aromom smole četinara/iglica bora (2,50). Kombinacija aromatskih komponenti u vodenim rastvorima korenasto-krtolastog začinskog bilja dala je prijatnu aromu i utisak u ustima. Značajan doprinos ukupnom kvalitetu aroma dala je kurkuma, zahvaljujući

osvežavajućem, blago iritirajućem utisku u ustima povezanom sa osvežavajućom aromom mente i iglica četinara ili smole (koristeći senzorske atribute kako je definisano u uputstvima za senzorsku analizu, Prilog 11). S obzirom na različite ocene kvaliteta, može se zaključiti da su postojali određeni faktori koji su uticali na ovakvo rangiranje uzoraka. Harmonične i prijatne arome, posebno u uzorcima gde je prisutna kurkuma, doprinele su višim ocenama usaglašenosti kvaliteta.



Slika 24. Intenzitet ključnih senzorskih atributa proizvoda za: (a) uzorke CO, CP9, CT8 i CP7; (b) uzorke TO, PT2, PO i CT5; i (c) uzorke CPT6 i PT3

S druge strane, izražena uljasta aroma i bljutav ukus uticali su na smanjenje ocena. Uzorci sa izraženijim osvežavajućim karakteristikama, kao kod smeše PT2, bili su bolje ocenjeni. Slabo izražene ili uopšte neizražene osvežavajuće note, kao na primer u uzorku PO, imale su negativan uticaj na ocenu. Pored toga, mešavine sa uravnoteženim odnosom aroma i prijatnim utiskom u ustima (npr. PT2 i CT5) dobile su najviše ocene. Dominacija jedne arome nad drugim smatrana je manom od strane ocenjivača, npr. dominacija uljaste arome, kao kod smeša CP9 i CO, ili nedostatak definisanih aroma, kao kod smeše CP7, takođe su umanjile kvalitet. Svi testirani uzorci imali su zadovoljavajući kvalitet, ali su intenzitet, harmonija i osvežavajući osećaj/aroma u ustima imali najznačajniji uticaj na ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta. Nasuprot tome, bljutav ukus i uljasta aroma ograničavali su ukupnu percepciju kvaliteta.

Boja uzoraka pripremljenih kao vodeni rastvori aromatičnih korenasto-krtolastih biljaka bila je direktno proporcionalna njihovoj količini u mešavini i posledica je prirode uzoraka, odnosno vrste i koncentracije bojenih materija prisutnih u uzorku. Svi uzorci su pripremljeni sa relativno niskom koncentracijom biljnog materijala, što je uobičajena praksa u pripremi hrane. Boja rastvora uzorka PT2 bila je malo tamnija žuta (4,40) sa blagom do jasno izraženom narandžastom nijansom (oko 3,50). Uzorak CT5 bio je malo tamnije žute boje (4,29) sa blago do jasno izraženom žutom/narandžastom nijansom. Boja rastvora PO je opisana kao blago svetlija bela boja (1,60) sa nešto intenzivnijom zelenom nijansom (2,0) i jedva primetno izraženom žutom nijansom (1,00). Boja rastvora TO je opisana kao malo tamnija narandžasta boja sa jasno izraženom žutom nijansom i veoma blagom do blago izraženom crvenom nijansom. Boja smeše CP9 opisana je kao bledo žuto-bela (1,20 i 1,00, respektivno) sa veoma blago izraženom žutom nijansom i jedva primetno izraženom sivom nijansom (1,20). Boja uzorka CO je opisana, gotovo na isti način kao i boja rastvora PO, sa blago svetlo beličastom bojom (1,60) sa jedva primetno izraženom žutom (1,29) i zelenom nijansom (1,00). Boja uzorka CP7 je opisana kao blago svetlija bela sa tonovima bledo žuto-zelene boje sa jedva primetno izraženom zelenom nijansom. Boja smeše CT8 je definisana kao jasno žuta boja (3,23) sa blago izraženom žutom (3,33) i veoma blago izraženom narandžastom nijansom (1,57). Boja uzorka PT3 je opisana kao skoro jasna žuta boja (2,89) sa veoma blago izraženom narandžastom nijansom (2,33). Boja vodenog rastvora uzorka CPT6

opisana je kao jasno žuta boja (2,90) sa jedva primetno izraženom narandžastom nijansom (1,33).

U okviru ove studije analizirane su i korelacije između ključnih senzorskih atributa i ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta kako bi se identifikovali ključni faktori koji doprinose pozitivnom ili negativnom uticaju na ukupni kvalitet proizvoda. Pearson-ova analiza korelacija otkrila je nekoliko značajnih povezanosti (tabela 51).

Tabela 51. Analiza korelacije ključnih senzorskih atributa i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta

	Koren celera	Koren peršuna	Rizom kurkume	Ulja/ora šastih plodova	Iglica od četinara/ smola	Osvežav ajući-na mentu	Piljevina	Suvog sena	Ocena
Koren celera	1	-0,269 *p*=0,452	-0,422 *p*=0,225	**0,694** *p*=**0,026**	-0,184 *p*=0,610	-0,509 *p*=0,133	0,517 *p*=0,126	-0,051 *p*=0,888	**-0,757** *p*=**0,011**
Koren peršuna	-0,269 *p*=0,452	1	-0,396 *p*=0,257	-0,237 *p*=0,509	-0,533 *p*=0,113	-0,449 *p*=0,193	-0,399 *p*=0,253	0,516 *p*=0,127	0,121 *p*=0,740
Rizom kurkume	-0,422 *p*=0,225	-0,396 *p*=0,257	1	-0,526 *p*=0,119	**0,870** *p*=**0,001**	**0,954** *p*=**0,000**	-0,396 *p*=0,257	-0,162 *p*=0,654	0,621 *p*=0,056
Ulja/oraš astih plodov	**0,694** *p*=**0,026**	-0,237 *p*=0,509	-0,526 *p*=0,119	1	-0,233 *p*=0,517	-0,432 *p*=0,212	**0,707** *p*=**0,022**	-0,022 *p*=0,951	**-0,727** *p*=**0,017**
Iglica od četinara/s mola	-0,184 *p*=0,610	-0,533 *p*=0,113	**0,870** *p*=**0,001**	-0,233 p=0,517	1	**0,830** *p*=**0,003**	0,020 *p*=0,956	-0,244 *p*=0,496	0,439 *p*=0,205
Osvežav ajući-na mentu	-0,509 *p*=0,133	-0,449 *p*=0,193	**0,954** *p*=**0,000**	-0,432 *p*=0,212	**0,830** *p*=**0,003**	1	-0,355 *p*=0,315	-0,262 *p*=0,464	**0,643** *p*=**0,045**
Piljevina	0,517 *p*=0,126	-0,399 *p*=0,253	-0,396 *p*=0,257	0,707 *p*=0,022	0,020 *p*=0,956	-0,355 *p*=0,315	1	-0,167 *p*=0,645	-0,476 *p*=0,164
Suvog sena	-0,051 *p*=0,888	0,516 p=0,127	-0,162 *p*=0,654	-0,022 *p*=0,951	-0,244 *p*=0,496	-0,262 *p*=0,464	-0,167 *p*=0,645	1	0,239 *p*=0,506
Ocena	**-0,757** *p*=**0,011**	0,121 *p*=0,740	0,621 *p*=0,056	**-0,727** *p*=**0,017**	0,439 *p*=0,205	**0,643** *p*=**0,045**	-0,476 *p*=0,164	0,239 *p*=0,506	1

Najizraženija negativna i statistički značajna korelacija uočena je između prisustva arome korena celera i ukupne ocene kvaliteta (r=-0,757, p=0,011), što ukazuje na to da aroma korena celera identifikovana u vodenim rastvorima negativno utiče na ukupnu ocenu usaglašenosti senzorskog kvaliteta. Sličan efekat primećen je i kod uljaste arome (r=-0,727, p=0,017). Takođe, uočena je i srednje jaka, statistički značajna korelacija između arome korena celera i uljaste arome, koja je negativno uticala na senzorski kvalitet uzoraka u kojima je dominirao celer. Nasuprot tome, osvežavajuća nota na mentu i aroma iglica bora/smole četinara pokazuju pozitivnu srednje jaku i slabu korelaciju sa senzorskom ocenom (r=0,643, p=0,045 i r=0,439, p=0,205, respektivno), implicirajući da su lagane, sveže i čiste arome poželjnije i da

mogu doprineti ukupnoj senzorskoj usaglašenosti proizvoda. Takođe, uočena je i statistički značajna korelacija između arome rizoma kurkume i osvežavajuće arome na mentu, što dovodi do zaključka da upravo osvežavajuće note vodenih rastvora proizilaze iz rizoma kurkume.

5.16.2. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost smeša

Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost uzoraka prikazani su u tabeli 52. Sadržaj ukupnih polifenola bio je najviši u TO uzorku, odnosno u uzorku kurkume (23,44 mg GAE/g) (p<0,05). Najniži sadržaj ovih jedinjenja, 0,77 mg GAE/g, pronađen je u PO uzorku, odnosno u uzorku peršuna, a zatim u uzorcima CP7 i CP9, sa vrednostima od 0,80 i 0,83 mg GAE/g, respektivno, bez statistički značajne razlike (p>0,05). Sadržaj ukupnih polifenola u korenu celera (CO uzorak) i korenu peršuna (PO uzorak) bio je približno sličan. Primećeno je da su sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost uzoraka CO i PO, kao i smeše korena celera i peršuna, povećavali sa dodatkom kurkume. Međutim, dodavanje peršuna celeru, ili i peršuna i celera kurkumi, vodilo je ka blagom smanjenju sadržaja ovih jedinjenja, bez sinergističkog efekta. Sličan trend je primećen u analizi antioksidativne aktivnosti, procenjene pomoću $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP testova. Uzorak TO je pokazao najjaču antioksidativnu aktivnost, a uzorci PO i CP7 najslabiju, bez statistički značajne razlike (p>0,05). U svojoj studiji, Hossain i saradnici (2023) su pokazali sinergistički efekat mešavine začinskog bilja koja sadrži celer, peršun, timijan, bosiljak, žalfiju i kurkumu, što je dokazano većim sadržajem ukupnih polifenola u poređenju sa zbirom pojedinačnih uzoraka. Nasuprot tome, ovaj efekat nije primećen u mešavini sastavljenoj od celera, peršuna, timijana, bosiljka i žalfije, bez kurkume.

Tabela 52. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost smeša

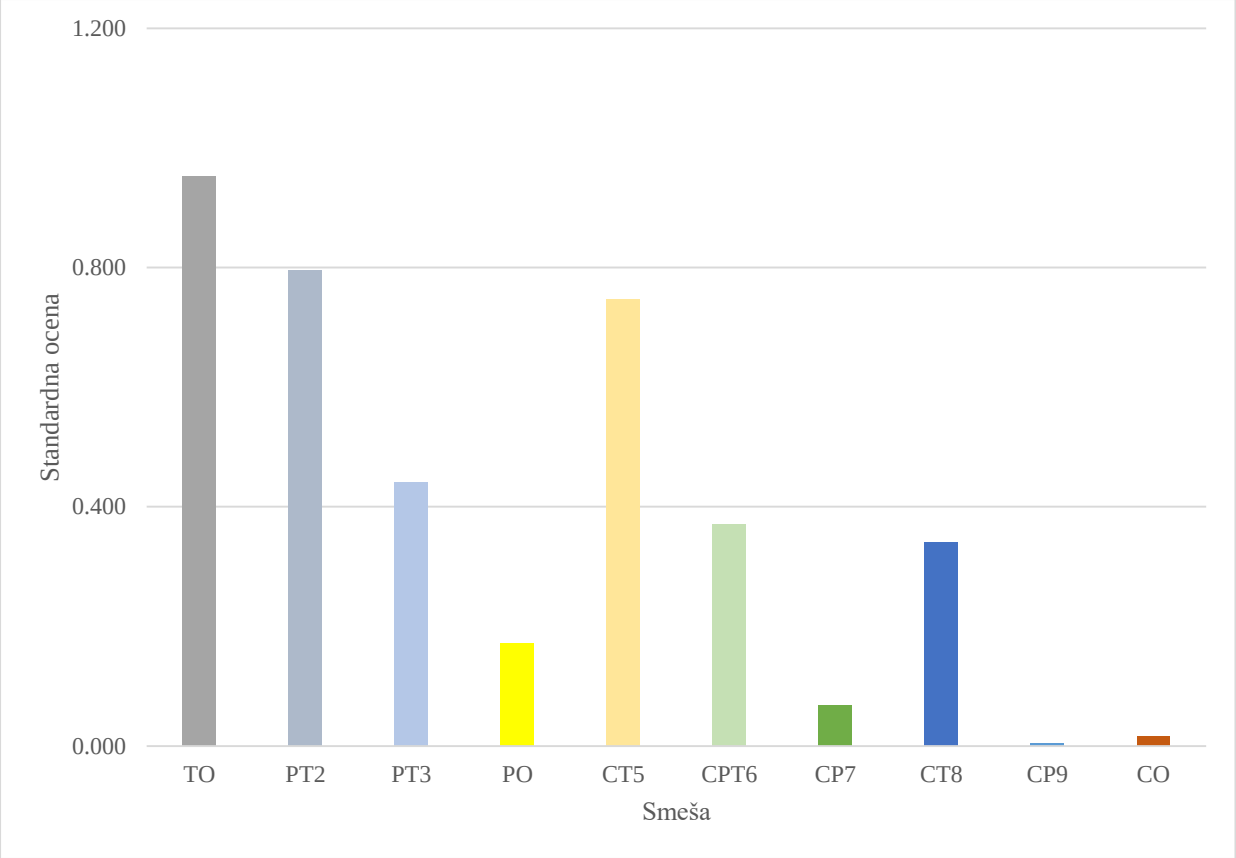
Uzorak	Ukupni polifenoli (mg GAE/g)	DPPH (μmol Troloksa/g)	ABTS (μmol Troloksa/g)	FRAP (μmol Fe^{2+}/g)
TO	23,44±0,93^{e}	166,02±4,65^{f}	358,78±13,27^{e}	333,09±16,45^{e}
PT2	16,03±0,04^{c}	130,67±2,65^{e}	271,80±1,52^{d}	257,04±7,33^{d}
PT3	9,90±0,14^{b}	79,97±3,06^{c}	115,68±3,92^{b}	150,57±8,23^{c}
PO	0,77±0,01^{a}	1,03±0,01^{a}	4,11±0,14^{a}	8,06±0,35^{a}
CT5	17,46±0,41^{d}	105,31±1,97^{d}	240,63±8,13^{c}	264,65±9,66^{d}
CPT6	9,56±0,71^{b}	61,99±0,39^{b}	104,01±1,61^{b}	103,35±8,99^{b}
CP7	0,80±0,02^{a}	1,09±0,01^{a}	5,21±0,50^{a}	8,72±0,21^{a}
CT8	10,16±0,18^{b}	61,80±1,02^{b}	111,35±4,81^{b}	115,90±2,03^{b}
CP9	0,83±0,01^{a}	1,61±0,02^{a}	7,32±0,15^{a}	9,20±0,05^{a}
CO	0,91±0,02^{a}	2,44±0,02^{a}	8,07±0,00^{a}	10,51±0,31^{a}

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). Različita slova u superskriptu u istoj koloni označavaju statističku značajnu razliku među srednjim vrednostima prema Tukey HSD *post hoc* testu (p<0,05).

5.16.3. Statistička analiza

5.16.3.1. Standardne ocene smeša korenasto-krtolastih začinskih biljaka

Standardne ocene (SS) su izračunate kao srednja vrednost normalizovanih rezultata svake promenljive (sadržaj ukupnih polifenola, $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP test, ocena usglašenosti senzorskog kvaliteta). Traženjem maksimule SS funkcije omogućeno je određivanje optimalnog sastava smeše korenasto-krtolastih začinskih biljaka. Kao što je prikazano na slici 25, uzorak TO imao je najvišu standardnu ocenu. Standardne ocene su se prilično dobro poklapale sa senzorskom analizom. Najvišu vrednost standardne ocene postigao je uzorak TO, koji je imao ocenu usaglašenosti senzorskog kvaliteta od 4,00. Nešto niže vrednosti standardnih ocena su primećene za uzorak PT2, sa senzorskom ocenom od 4,42 i za uzorak CT5 sa senzorskom ocenom od 4,25.



Slika 25. Standardne ocene za različite uzorke smeša. TO - kurkuma, PT - mešavina peršuna/kurkume, PO - peršun, CT - mešavina celera/kurkume, CPT - mešavina celera, peršuna i kurkume, CO - celer

Iako su uzorci TO, PT2, CT5 i PT3 pokazali više vrednosti standardnih ocena, mešavina CPT6 (sa jednakim udelom celera, peršuna i kurkume) je odabrana kao optimalna zbog svojih uravnoteženih senzorskih karakteristika, umerenog do visokog antioksidativnog potencijala i kulturološkog aspekta. Sa nutritivnog stanovišta, uzorak CPT6 je pokazao prilično visok sadržaj polifenolnih jedinjenja (9,56 mg GAE/g) kao i vrlodobru senzorsku ocenu (3,58). Uključivanjem korena celera i peršuna, oba tradicionalna sastojka balkanske kuhinje, obezbedila bi se bolja prihvatljivost i tržišni potencijal proizvoda. Sa kulturne i kulinarske tačke gledišta, konzumacija celera i peršuna širom Balkanskog poluostrva je u skladu sa tradicionalnom ishranom stanovništva, gde su ove biljke sastojci mnogih lokalnih jela. Nasuprot tome, kurkuma nije u značajnoj meri prisutna u balkanskoj kuhinji, ne koristi se često i nije prepoznata među lokalnim stanovništvom, što takođe može usloviti prihvaćenost od strane potrošača. Ovaj kulturni kontekst treba uzeti u obzir prilikom tumačenja izbora sastojaka finalnog proizvoda i percepcije potrošača u

okviru ove studije. Dodavanje kurkume poboljšalo je funkcionalna svojstva mešavine, u tolikoj meri da nije previse dominantna, podržavajući CPT6 kao zaokruženu formulaciju pogodnu za dalji razvoj kao funkcionalnog sastojka.

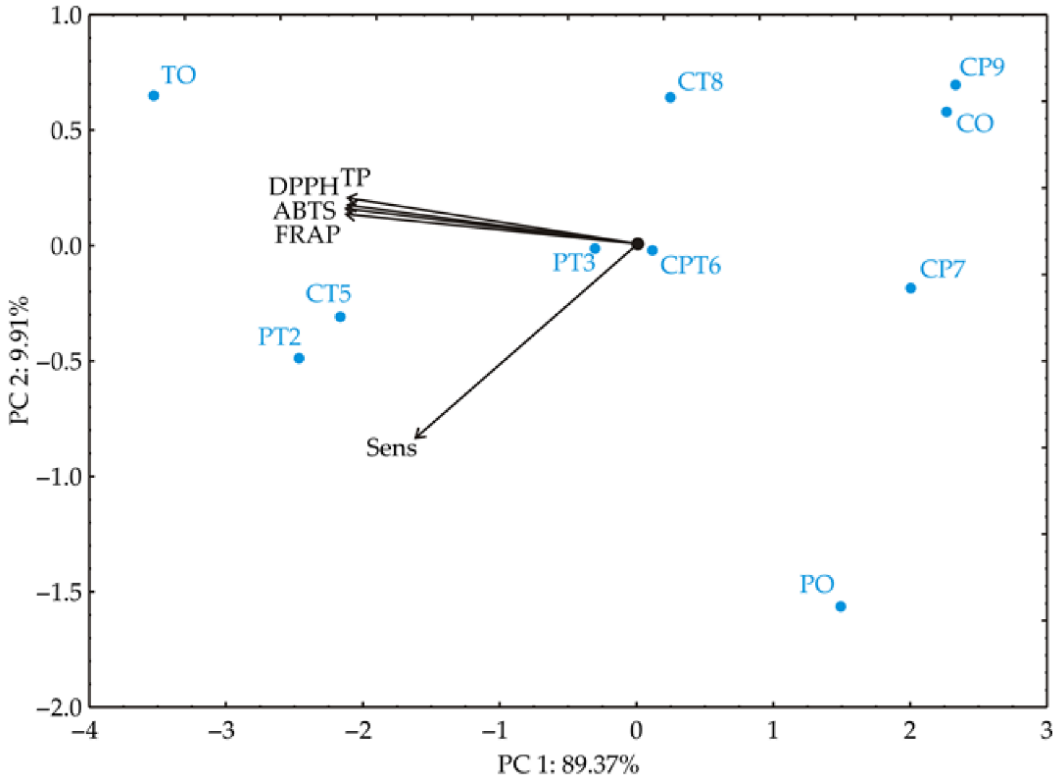
5.16.3.2. Analiza korelacija između parametara antiokidativnosti i ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta

Analiza korelacija pruža uvid u odnose između sadržaja ukupnih polifenola (TP), DPPH$^{\bullet}$, ABTS$^{\bullet+}$, FRAP testova i senzorskog kvaliteta. Jake pozitivne korelacije su evidentne između TP i testova antioksidativne aktivnosti: TP je u izraženoj korelaciji sa DPPH (r=0,987, p=0,000), ABTS (r=0,985, p=0,000) i FRAP (r=0,989, p=0,000), što ukazuje da je veći sadržaj polifenola povezan sa povećanom antioksidativnom aktivnošću. Rezultati ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta pokazuju umerenu korelaciju sa sadržajem ukupnih polifenola (r=0,641, p=0,046), što sugeriše statistički značajnu, ali slabiju vezu, gde viši nivoi ukupnih polifenola mogu doprineti percipiranim senzorskim kvalitetima. DPPH$^{\bullet}$ test je takođe ostvario snažnu korelaciju sa ABTS$^{\bullet+}$ testom (r=0,987, p=0,000) i FRAP (r=0,987, p=0,000), što ističe konzistentnost između ovih antioksidativnih testova. Pored toga, DPPH$^{\bullet}$ test je imao umerenu korelaciju sa ocenama usaglašenosti senzorskog kvaliteta (r=0,658, p=0,039), što implicira potencijalni uticaj antioksidativne aktivnosti na senzorske atribute. ABTS$^{\bullet+}$ test je pokazao veoma jaku korelaciju sa FRAP testom (r=0,992, p=0,000), potvrđujući usklađenost između ova dva testa u proceni antioksidativnog kapaciteta. ABTS$^{\bullet+}$ test i FRAP test su takođe pokazali umerenu korelaciju i sa rezultatima senzorskog ispitivanja (r=0,667, p=0,035 i r=0,682, p=0,030, respektivno), što sugeriše da nosioci antioksidativnih svojstava u začinima detektovani ABTS$^{\bullet+}$ i FRAP testovima mogu uticati na senzorsku percepciju.

5.16.3.3. Analiza glavnih komponenti (PCA)

PCA je sprovedena kako bi se pružio jasniji uvid u sličnosti među uzorcima na osnovu njihovih ispitivanih svojstava, uključujući sadržaj ukupnih polifenola, DPPH$^{\bullet}$, ABTS$^{\bullet+}$, FRAP testova i ocene usaglašenopsti senzorskog kvaliteta. Ovaj višeparametarski statistički pristup omogućio je diferencijaciju uzoraka sa različitim udelom pojedinih komponenti. PCA biplot, koji ilustruje odnose među uzorcima, pokazao je da prve dve glavne komponente objašnjavaju 99,28% ukupne varijanse u

skupu podataka (slika 26). Analiza je otkrila izražene obrasce grupisanja među uzorcima, što ukazuje na postojanje jasnih razlika između ispitivanih parametara.



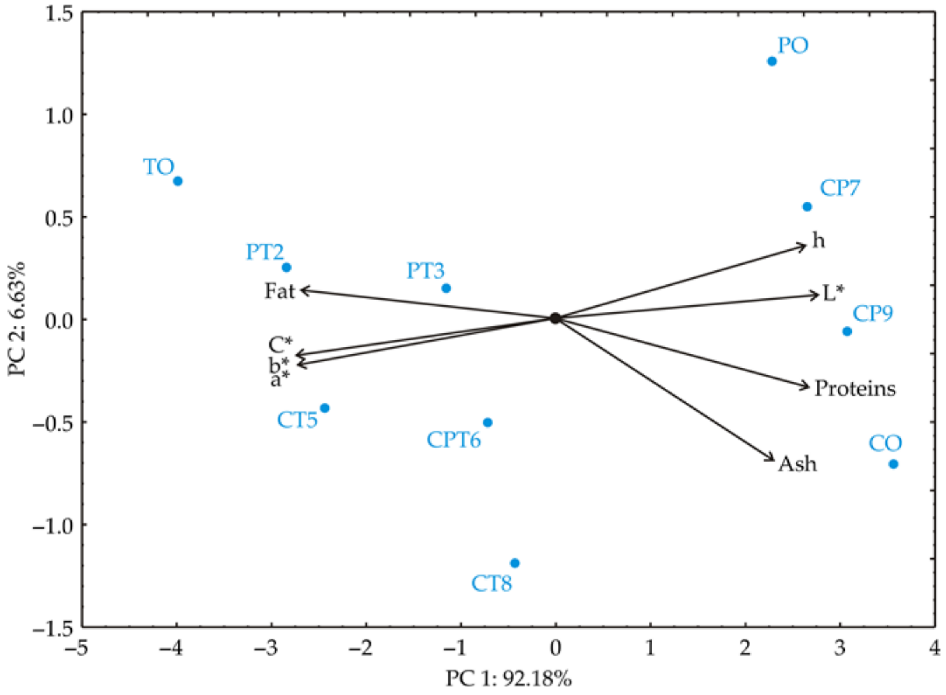
Slika 26. Biplot dijagram glavnih komponenti za uzorke smeša na osnovu njihovih antioksidativnih svojstava (TP, DPPH, ABTS i FRAP) i ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens). TO - kurkuma, PT - mešavina peršuna/kurkume, PO - peršun, CT - mešavina celera/kurkume, CPT - mešavina celera, peršuna i kurkume, CO - celer

Primećena je negativna korelacija promenljive ukupni polifenoli (TP) (sa doprinosom za PC1 od 21,6% ukupne varijanse, na osnovu korelacije) sa prvom glavnom komponentom, PC1. Slično, i antioksidativni testovi DPPH (21,8%), ABTS (21,9%) i FRAP (22,0%), takođe su pokazali snažnu negativnu korelaciju sa PC1, što ukazuje da PC1 u velikoj meri opisuje varijabilnost antioksidativnih svojstava uzoraka. Međutim, ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens) imale su manji doprinos prema PC1 (12,7%), što ukazuje na slabiju povezanost ove komponente sa ovim parametrom u poređenju sa antioksidativnim parametrima. Međutim, ako se posmatra druga glavna komponenta (PC2), ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta imala je veoma snažan negativan doprinos (87,0%, na osnovu korelacije), što implicira da PC2 u velikoj meri prikazuje razlike u senzorskom kvalitetu uzoraka.

Antioksidativni parametri sa PC2 imaju niske, ali pozitivne korelacije, što ukazuje na slabu pozitivnu povezanost ove komponente sa tim faktorima.

Uzorci PO, CP7, CP9 i CO, koji su imali najniže vrednosti za sadržaj ukupnih polifenola (TP), $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP antioksidativne testove, nalaze se na desnoj strani biplota. Nasuprot tome, uzorci TO, PT2 i CT5, koji pokazuju više vrednosti za ove parametre, nalaze se na levoj strani biplota. Uzorak PO se posebno izdvaja ka PC2, verovatno zbog niskog sadržaja polifenolnih jedinjenja, slabe antioksidativne aktivnosti i visoke ocene senzorskog kvaliteta. Uzorci PT3 i CPT6 su pozicionirani blizu koordinatnog početka, što ukazuje da su imali minimalan uticaj na varijabilnost podataka.

Osim toga, PCA primenjena je i na hemijske i kolorimetrijske parametre kako bi se utvrdile sličnosti i razlike među uzorcima u pogledu sadržaja sirovih proteina, sadržaja pepela i sirovih masti i parametara boje (L*, a*, b*, C*, h). PCA biplot je pokazao da prve dve komponente objašnjavaju 98,81% ukupne varijanse što znači da je većina razlika među uzorcima uspešno objašnjena kroz ovu analizu. Grafikon jasno pokazuje grupisanje uzoraka i njihove međusobne razlike po ovim parametrima (slika 27).



Slika 27. Biplot dijagram glavnih komponenti za uzorke smeša na osnovu njihovih hemijskih svojstava (sirovi proteini, sirove masti, pepeo) i parametara boje (L*, a*, b*, C*, h).

Prva glavna komponenta PC1, nalazila se u pozitivnoj korelaciji sa parametrima svetline L* (sa doprinosom od 13,4% ukupne varijanse za opisivanje PC1, na osnovu korelacija), sadržajem sirovih proteina (12,6%), uglom nijanse boje (12,2%) i sadržajem pepela (9,2%). S druge strane, parametri a* (13,1%), b* (13,3%), C* (13,3%) i sadržaj sirovih masti (12,8%) bili su u negativnoj korelaciji sa PC1. Parametar sadržaj pepela nalazio se u negativnoj korelaciji sa drugom glavnom komponentom (PC2) sa doprinosom za opisivanje ove komponente od 55,7% (na osnovu korelacije), što znači da je ovaj parametar dominantno uticao na PC2. Takođe, u negativnoj korelaciji sa PC2 bili su i parametar za sadržaj sirovih proteina (12,8%), parametar boje a* (5,9%), parametar boje b* (3,8%) i parametar C* (3,8%). Pozitivan doprinos na PC2 je primećen od strane parametra za ugao nijanse boje (14,3%), parametra boje L* (1,56%) i parametra za sadržaj sirovih masti (2,3%), pokazujući drugačije obrasce povezivanja u donosu na PC1. Ova analiza ističe da sadržaj pepela i ugao nijanse boje (h) značajno doprinose varijansi, diferencirajući grupe uzoraka na osnovu ovih glavnih komponenti. Uzorci TO, PT2, PT3, CT5 i CPT6 su pozicionirani na levoj strani biplota, što ukazuje da su prvenstveno pod uticajem parametara kao što su sadržaj sirovih masti, a*, b* i hroma (C). Uzorak TO

se nalazi na krajnjoj levoj strani, najverovatnije kao rezultat povećanog sadržaja sirovih masti i značajnih razlika u parametrima boje u odnosu na ostale uzorke. Uzorci CP9 i CO nalaze se na desnoj strani PC1, verovatno zbog visokog sadržaja proteina. Ovi uzorci su bogati proteinima i pepelom (što predstavlja mineralnu materiju), dok pokazuju niže vrednosti za sadržaj sirovih masti i zasićenost boje. Uzorci PO i CP7 su pozicionirani u gornjem desnom kvadrantu biplota, što ukazuje na jak uticaj parametara ugla nijanse boje (h) i svetline (L) na ovakav položaj. Pored toga, njihov sličan sadržaj proteina i masti dodatno ih razlikuje od ostalih uzoraka. S druge strane, uzorci PT3 i CPT6 su grupisani bliže centru biplota, što sugeriše da imaju uravnotežene vrednosti ovih parametara, bez izraženih odstupanja. Njihova pozicija u sredini ukazuje na to da se oni ne izdvajaju po specifičnim karakteristikama kao neki drugi uzorci, te su zbog toga manje prepoznatljivi u poređenju sa uzorcima koji se nalaze na ekstremnim pozicijama grafikona.

5.16.3.4. ANOVA analiza polinomskog modela drugog reda antioksidativnih parametara, hemijskih parametara kvaliteta i kolorimetrijskih parametara smeša začinskog bilja

Tabela 53 sumira ANOVA analizu različitih hemijskih i antioksidativnih svojstava (TP, DPPH$^{\bullet}$, ABTS$^{\bullet+}$, FRAP, sadržaj sirovih proteina, pepela i sirovih masti) i kolorimetrijskih parametara (npr. L*, a*, b*, C* i h) i ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta za mešavine celera, peršuna i kurkume, za linearne (L) i kvadratne (Q) članove u modelu polinoma drugog reda (kvadratnom modelu). U tabeli 53, prikazane su vrednosti sume kvadrata odstupanja (*eng*. Sum of squares). Prema ANOVA analizi, kvadratni član za sadržaj rizoma kurkume je statistički značajan (p<0,05) te je imao značajan uticaj na parametre boje (L*, a*, b*, C* i h) smeša, kao i na antioksidativni kapacitet smeša s obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test, ističući različite efekte kurkume u analizi. Kvadratni član za sadržaj celera je takođe statistički značajan i uticao je na antioksidativnu aktivnost s obzirom na DPPH$^{\bullet}$ test. Kvalitet podudaranja modela sa eksperimentalnim podacima ocenjen je putem koeficijenta determinacije (r^2), koji je pokazao izuzetno visoke vrednosti, bliske 1,000, za većinu analiziranih parametara: za TP (0,998), DPPH (0,998), ABTS (0,995), FRAP (0,994), sadržaj sirovih proteina, pepela i sirovih masti (svi 1,000), i parametre boje L*, a*, b*, C* i h (0,995 do 0,984). Vrednosti prilagođenog koeficijenta determinacije, *adj* r^2, su takođe visoke: TP (0,995), DPPH (0,994), ABTS (0,986), FRAP (0,983) i parametri boje (u

rasponu od 0,993 do 0,953), iako ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta pokazuju niže vrednosti za prilagođeni koeficijent determinacije, *adj* r^2, od 0,591, što ukazuje na niži stepen objašnjene varijabilnosti modelom.

Tabela 53. ANOVA analiza polinomskog modela drugog reda antioksidativnih parametara, hemijskih parametara kvaliteta i kolorimetrijskih parametara

Faktor		TP	DPPH	ABTS	FRAP	Ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta	Sirovi proteini	Pepeo	Sirove masti	L*	a*	b*	C*	h
Celer (L)	1	0,0012	15,89	333,3	1067,0	0,001688	0,01081	0,00034	0,00006	0,0170	0,0264	1,688	1,550	0,6193
Celer (Q)	1	0,2179	248,80*	133,7	35,0	0,000081	0,00587	0,00269	0,00016	0,2508	0,0042	0,485	0,506	0,0703
Peršun (L)	1	0,0012	15,88	333,0	1067,2	0,001592	0,01131	0,00024	0,00007	0,0166	0,0264	1,685	1,546	0,6197
Peršun (Q)	1	0,4255	191,60	268,6	82,5	0,250122	0,00023	0,00003	0,00000	0,0921	0,0071	0,229	0,229	0,0213
Kurkuma (L)	1	0,0028	16,97	344,2	1085,2	0,001582	0,01243	0,00019	0,00018	0,0138	0,0231	1,601	1,463	0,6046
Kurkuma (Q)	1	3,1682	234,07*	2,5	897,9	0,140465	0,00830	0,00047	0,00000	19,9776*	23,1595*	164,316	174,047*	57,1695*
Greška	3	0,9446	62,42	685,6	765,9	0,474610	0,01789	0,00270	0,00160	1,8785	0,6241	13,395	13,093	5,2461
r^2		0,998	0,998	0,995	0,994	0,864	1,000	1,000	1,000	0,995	0,998	0,995	0,995	0,984
adj r^2		0,995	0,994	0,986	0,983	0,591	0,999	1,000	1,000	0,984	0,993	0,985	0,986	0,953

Napomena: TP – ukupnih polifenoli, DPPH, ABTS i FRAP – antioksidativni testovi, L*, a*, b*, c*, C* i h – kolorimetrijski parametri, r^2 – koeficijent determinacije, adj r^2 – prilagođeni koeficijent determinacije, L – linearni član modela drugog reda, Q – kvadratni član modela drugog reda, *statistički značajno pri $p<0,05$

5.16.3.5. Modelovanje podataka primenom veštačkih neuronskih mreža

U ovoj studiji, razvijeni su višestruki modeli veštačkih neuronskih mreža (ANN) za predviđanje izlaznih promenljivih za različita hemijska i antioksidativna svojstva (TP, DPPH, ABTS, FRAP, sadržaj sirovih proteina, pepela i sirovih masti) i kolorimetrijske parametre (npr. L*, a*, b*, C* i h) za uzorke smeša definisane eksperimentalnim dizajnom. Na performanse i strukturu ANN značajno su uticale početne pretpostavke za parametre matrice, kao što su težinski koeficijenti i nulte vrednosti, koji su bili ključni za konstruisanje i uklapanje ANN u eksperimentalne podatke. Pored toga, broj neurona u skrivenom sloju uticao je na performanse modela. Da bi se ublažile slučajne korelacije iz početnih pretpostavki i inicijalizacije težinskih koeficijenata, testirano je 100 000 topologija. Ciklus učenja za model ANN sproveden je tokom 100 epoha, sa odgovarajućim rezultatima, uključujući tačnost učenja i grešku (gubitak). Tačnost tokom ciklusa učenja se postepeno povećavala sa svakim korakom dok se nije stabilizovala oko 50. do 60. epohe. Produžavanje ciklusa učenja preko 60 epoha rizikovalo je preprilagođavanjem. Stoga, da bi se održala visoka tačnost modela, a istovremeno izbeglo preprilagođavanje, ciklus učenja od 50 epoha smatran je optimalnim za većinu izlaznih promenljivih. Performanse modela veštačkih neuronskih mreža su analizirane i utvrđeno je da se optimalan broj neurona u skrivenim slojevima za predviđanje izlaznih promenljivih kreće od 3 do 10, kao što je prikazano u tabeli 54. Ovako izabrana konfiguracija je doprinela visokim vrednostima koeficijenta determinacije tokom ciklusa učenja, kao što je prikazano u tabeli 54.

Tabela 54. Rezime ANN modela – prikaz performansi i detalja arhitekture za svaki MLP model

Promenljiva	Mreža	Performanse ciklusa učenja (r^2)	Performanse ciklusa testiranja (r^2)	Greška ciklusa učenja	Greška ciklusa testiranja	Algoritam učenja	Funkcija greške (gubitka)	Aktivaciona funkcija skrivenog sloja	Aktivaciona funkcija izlaznog sloja
Ukupni polifenoli (TP)	MLP 3-6-1	0,978	1,000	0,963	0,914	BFGS 20	SOS	Logistička	Logistička
DPPH	MLP 3-9-1	0,991	1,000	26,873	3,631	BFGS 14	SOS	Tangens hiperbolikus	Tangens hiperbolikus
ABTS	MLP 3-10-1	0,953	1,000	439,146	41,002	BFGS 4	SOS	Logistička	Identična funkcija
FRAP	MLP 3-3-1	0,980	1,000	296,648	18,806	BFGS 3	SOS	Logistička	Identična funkcija
Ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens)	MLP 3-5-1	0,811	1,000	0,045	0,048	BFGS 3	SOS	Logistička	Identična funkcija
Sirovi proteini	MLP 3-7-1	0,999	1,000	0,003	0,003	BFGS 35	SOS	Eksponencijalna	Eksponencijalna
Pepeo	MLP 3-10-1	0,986	1,000	0,028	0,014	BFGS 5	SOS	Identična funkcija	Logistička
Sirove masti	MLP 3-3-1	1,000	1,000	0,000	0,000	BFGS 187	SOS	Logistička	Identična funkcija
L*	MLP 3-4-1	1,000	1,000	0,005	0,048	BFGS 20	SOS	Tangens hiperbolikus	Identična funkcija
a*	MLP 3-3-1	1,000	1,000	0,000	0,018	BFGS 30	SOS	Logistička	Identična funkcija
b*	MLP 3-4-1	1,000	1,000	0,006	0,035	BFGS 53	SOS	Tangens hiperbolikus	Identična funkcija
C*	MLP 3-9-1	1,000	1,000	0,026	0,177	BFGS 108	SOS	Tangens hiperbolikus	Eksponencijalna
h	MLP 3-7-1	1,000	1,000	0,004	0,017	BFGS 9	SOS	Eksponencijalna	Logistička

Napomena: MLP – višeslojni perceptron model, BFGS – Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno algoritam, SOS – suma kvadrata razlike

Tabela 54 prikazuje rezime razvijenih ANN modela odnosno daje prikaz performansi i detalja arhitekture za svaki MLP model, pokazujući da su svi modeli tokom ciklusa testiranja postigli savršene vrednosti r^2 (1,000), što ukazuje na snažnu prediktivnu tačnost na eksperimentalnim vrednostima. Vrednosti r^2 tokom ciklusa učenja između eksperimentalnih vrednosti i vrednosti proisteklih iz ANN-a variraju, pri čemu je većina modela takođe blizu 1,000, dok ukupni polifenoli (TP) (0,978), DPPH (0,991), ABTS (0,953), FRAP (0,980) i ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens) (0,811) pokazuju nešto niže vrednosti, što ukazuje na neke razlike u kvalitetu podudaranja između promenljivih. Greške tokom ciklusa učenja i testiranja otkrivaju da se eksperimentalne vrednosti i vrednosti predviđene modelom za promenljive kao što su sadržaj sirove masti i a* (greška: 0,000) precizno podudaraju, dok modeli poput DPPH (26,873), ABTS (439,146) i FRAP (296,648) imaju znatno veće greške tokom ciklusa učenja, ali mnogo manje greške tokom ciklusa testiranja, što ukazuje na poboljšanu generalizaciju. Aktivacione funkcije su prilagođene svakoj promenljivoj, sa logističkom i tangens hiperbolikus funkcijom za nelinearne obrasce, eksponencijalnom za eksponencijalne odnose (npr. za sadržaj sirovih proteina i ugla nijanse boje (h)) i identičnom funkcijom za jednostavnije linearne transformacije u izlaznim slojevima za promenljive poput ABTS i FRAP. Broj skrivenih neurona je optimizovan u skladu sa složenošću problema, pri čemu su jednostavniji modeli (sa 3 neurona) korišćeni za FRAP i a*, dok su složeniji modeli (do 10 neurona) korišćeni za promenljive poput ABTS i sadržaj pepela, kako bi se uravnotežila fleksibilnost i izbeglo preprilagođavanje modela. Ovako podešavanje broja neurona i aktivacionih funkcija dovelo je do formiranja efikasnih modela, mada bi dalja podešavanja mogla poboljšati tačnost za određene promenljive sa visokim greškama tokom ciklusa učenja (ABTS).

Tabela 55 prikazuje rezultate statističkih testova za nekoliko parametara, demonstrirajući različite performanse modela i karakteristike podataka. Model za sadržaj ukupnih polifenola je pokazao vrednosti za χ^2 od 2,516, *RMSE* od 1,484, *SSE* od 17,613 i r^2 od 0,963, što ukazuje na jako prilagođavanje modela, dok su vrednosti za *MPE* i *AARD* iznosile 36,322, pokazujući umerenu relativnu grešku. Model za DPPH je imao veće vrednosti za metrike greške, sa χ^2 od 49,497, *RMSE* od 6,581, *SSE* od 346,480 i *AARD* od 89,772. Međutim, njegov r^2 od 0,987 ukazuje na robusno poklapanje uprkos izvesnoj netačnosti predviđanja. ABTS se istakao sa vrednostima za χ^2 od 906,020, *RMSE* od 28,156, *SSE* od 6342,139 i *AARD* od 94,755, što odražava značajnu grešku predviđanja, dok r^2 od 0,945 ukazuje na razumno, ali manje precizno poklapanje modela sa eksperimentalnim podacima. Model za FRAP je imao vrednosti za χ^2 od 540,000, *RMSE* od 21,737 i *SSE* od 3779,999, sa r^2 od 0,982, što ukazuje na jaku tačnost predviđanja, iako visoka negativna *MBE* (-15,448) ukazuje na potcenjivanje stvarnih vrednosti od strane modela.

Model za ocenu usaglašenosti senzorskog kvaliteta smeša analiza ima najnižu vrednost za r^2 od 0,611, sa χ^2 od 0,103, *RMSE* od 0,300 i *SSE* od 0,720, što ističe potrebu za poboljšanjem modela. Model za sadržaj sirovih proteina pokazuje izuzetnu tačnost, sa χ^2 od 0,007, *RMSE* od 0,079, *SSE* od 0,050 i r^2 od 0,999. Model za sadržaj pepela je pokazao vrednosti za χ^2 od 0,040, *RMS*E od 0,187, *SSE* od 0,281 i r^2 od 0,976, što ukazuje na pouzdane performanse. Model za sadržaj sirovih masti je postigao vrednosti za r^2 od 1,000, sa minimalnom greškom (χ^2 i *SSE* blizu 0), što sugeriše savršenu tačnost predviđanja. Što se tiče modela za parametre boje, L* je imao vrednosti za χ^2 od 0,045, *RMSE* od 0,199, *SSE* od 0,316 i r^2 od 0,999, što ukazuje na veoma dobar model. Modeli za parametre boje a*, b*, C* i h takođe postigli su vrednosti r^2 od 1,000, sa niskim vrednostima χ^2 i *RMSE* (npr., *RMSE* za a* je 0,117, a za b* je 0,170), što ukazuje na skoro savršenu tačnost predviđanja modelom. Metrike raspodele otkrivaju izvesnu asimetriju; na primer, parametar b* pokazuje visoku pozitivnu asimetriju (2,170) i kurtozu (5,598), što ukazuje na raspodelu iskrivljenu udesno sa izraženim repom, dok TP ima blagu asimetriju (0,050) i negativnu kurtozu (−1,511), što ukazuje na raspodelu sa nedovoljno izraženim repom. Generalno, iako većina parametara pokazuje dobro slaganje sa modelom i niske greške, promenljive kao što su ocena usaglašenosti senzorskog

kvaliteta i ABTS mogu imati koristi od dodatnog usavršavanja modela, u cilju smanjenja greške i poboljšanja tačnosti predikcije.

Tabela 55. Testovi za ispitivanje adekvatnosti modela i rezidualna analiza razvijenih ANN modela

	Parametri za verifikaciju modela (statistički testovi)											
	χ^2	*RMSE*	*MBE*	*MPE*	*SSE*	*AARD*	r^2	Skew	Kurt	Mean	StDev	Var
Ukupni polifenoli (TP)	2,516	1,484	0,326	36,322	17,613	36,322	0,963	0,050	-1,511	0,326	1,547	2,395
DPPH	49,497	6,581	-0,690	89,772	346,480	89,772	0,987	-0,177	1,069	-0,690	6,997	48,953
ABTS	906,020	28,156	1,017	94,755	6342,139	94,755	0,945	0,739	1,642	1,017	30,081	904,837
FRAP	540,000	21,737	-15,448	60,340	3779,999	60,340	0,982	-0,284	-1,112	-15,448	16,348	267,267
Ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta (Sens)	0,103	0,300	-0,041	5,700	0,720	5,700	0,611	-0,560	-0,525	-0,041	0,318	0,101
Sirovi proteini	0,007	0,079	-0,010	0,672	0,050	0,672	0,999	1,627	2,534	-0,010	0,084	0,007
Pepeo	0,040	0,187	-0,046	2,099	0,281	2,099	0,976	-0,406	-0,371	-0,046	0,194	0,038
Sirove masti	0,000	0,010	0,001	0,267	0,001	0,267	1,000	0,866	0,114	0,001	0,010	0,000
L*	0,045	0,199	-0,102	0,208	0,316	0,208	0,999	-0,319	-2,240	-0,102	0,182	0,033
a*	0,016	0,117	0,062	-0,242	0,109	1,689	1,000	1,414	-0,039	0,062	0,106	0,011
b*	0,033	0,170	0,048	0,399	0,232	0,399	1,000	2,170	5,598	0,048	0,175	0,030
C*	0,152	0,365	0,197	0,777	1,066	0,777	1,000	1,160	0,183	0,197	0,328	0,108
h	0,021	0,136	-0,006	0,131	0,147	0,131	0,999	-0,839	-0,658	-0,006	0,145	0,021

Napomena: χ^2 – redukovani hi-kvadrat, *RMSE* – koren srednje vrednosti kvadratne greške, *MBE* – srednja greška pristrasnosti, *MPE* –srednja vrednost procentualne greške, *SSE* – zbir kvadratnih grešaka, *AARD* – prosečno apsolutno relativno odstupanje, r^2 – koeficijent determinacije, Skew (Skewness) – odstupanje rezidualnih vrednosti od normalne raspodele; Kurt (Kurtoisis) – odstupanje rezidualnih vrednosti od „nazubljenosti“ normalne raspodele; Mean – srednja vrednost; StDev - standardna devijacija; Var – varijansa.

5.16.4. Antioksidativna aktivnost i HPLC analiza polifenolnih jedinjenja u optimalnoj formulaciji

Antioksidativna aktivnost i sadržaj pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u odabranoj smeši korenasto-krtolastih začinskih biljaka (CPT6) prikazan je u tabeli 56. Sadržaj ukupnih flavonoida, flavonola i flavan-3-ola u uzorku CPT6 (izraženi na masu biljnog materijala) iznosio je 33,31 mg QE/g, 30,93 mg QE/g i 4,99 mg CE/g, respektivno. Sadržaj navedenih klasa polifenolnih jedinjenja bio je znatno viši u odnosu na pojedinačne uzorke celera i peršuna predstavljene u ovoj disertaciji. U skladu sa tim, i antioksidativna aktivnost smeše CPT6 ispitana $DPPH^{\bullet}$ testom i $ABTS^{\bullet+}$ testom, izražena sa IC_{50} vrednostima, bila je izraženija (niže IC_{50} vrednosti) u poređenju sa pojedinačnim uzorcima celera i peršuna, gde su izmerne vrednosti u iznosu od 981,74 µg/mL i 124,49 µg/mL, respektivno. U uzorku je identifikovano šest različitih fenolnih kiselina, pri čemu je *p*-hidroksibenzoeva kiselina najdominantnija, u koncentraciji od 85,75 µg/100 g. Flavonoidi su grupa polifenolnih jedinjenja sa širokim spektrom bioloških aktivnosti, uključujući antioksidativne, antiinflamatorne i antikancerogene efekte (Shen i sar., 2022). Apigenin je flavon koji je karakterističnо jedinjenje celera i peršuna (Prakash i sar., 2024) i njegov sadržaj u ovoj mešavini bio je 37,56 µg/100 g.

Tabela 56. Antioksidativna aktivnost i sadržaj pojedinačnih polifenolnih jedinjenja u uzorku CPT6

Parametar	**Iznos**
Ukupni flavonoidi (mg QE/g)	33,31±0,95
Ukupni flavonoli (mg QE/g)	30,93±0,62
Ukupni flavan-3-oli (mg CE/g)	4,99±0,03
IC_{50}^{DPPH} (µg/mL)	981,74±41,42
IC_{50}^{ABTS} (µg/mL)	124,49±9,06
Fenolno jedinjenje	**Sadržaj (µg/100g)**
p-hidroksibenzoeva kiselina	85,75±0,11
galna kiselina	14,04±0,31
protokatehinska kiselina	20,33±0,61
cimetna kiselina	9,23±0,35
ferulna kiselina	6,34±0,18
apigenin	37,56±0,15
hlorogena kiselina	7,96±0,58

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). QE – kvercetin ekvivalent, CE – katehin ekvivalent.

5.16.5. Sastav masnih kiselina u uzorku CPT6

Pored sadržaja pepela, sirovih masti i proteina, u okviru fizičko-hemijskih parametara analiziran je i sadržaj suve materije, aktivnost vode, sastav masnih kiselina i mineralni sastav u uzorku CPT6. Sadržaj suve materije u uzorku CPT6 iznosio je 94,03±0,56%, a aktivnost vode iznosila je 0,336±0,001.

Kvalitatitvni i kvantitativni sastav masnih kiselina u uzorku CPT6 prikazan je u tabeli 57. Evidentna je dominacija polinezasićenih masnih kiselina (PUFA), koje čine 62,23% ukupnog sadržaja masnih kiselina. Od njih je linolna kiselina (C18:2 c+t) najzastupljenija sa 50,39%, a potom α-linolenska kiselina (C18:3 n3) sa 6,32%. Polinezasićene masne kiseline imaju značajnu ulogu u ljudskoj ishrani. Veoma su cenjene zbog svog pozitivnog doprinosa opštem zdravstvenom stanju. Pored činjenice da obezbeđuju značajnu količinu energije telu (ovu ulogu obavljaju i zasićene masti), ove nezasićene masne kiseline, a posebno esencijalne, uključene su u strukturu ćelijskih membrana, utiču na regulaciju krvnog pritiska i koagulaciju, regulišu funkcionisanje imunog sistema, učestvuju u asimilaciji vitamina rastvorljivih u mastima, utiču na sintezu pro- i antiinflamatornih supstanci i štite kardiovaskularni sistem (Mititelu i sar., 2024). Polinezasićene masne kiseline su nezasićene masne

kiseline koje imaju dve ili više dvostrukih veza. Prema položaju prve dvostruke veze u odnosu na terminalnu metil grupu mogu se klasifikovati na omega-6 masne kiseline (koje imaju dvostruku vezu na šestom ugljenikovom atomu brojeći od terminalne metil grupe) i omega-3 masne kiseline (koje imaju dvostruku vezu na trećem ugljenikovom atomu ugljenika brojeći od terminalne metil grupe). Omega-3 masne kiseline se sintetišu iz esencijalne α-linolenske kiseline (ALA) (C18:3 c9,c12,c15), a omega-6 masne kiseline iz linolne kiseline (LA) (C18:2 c9,c12). Iako ljudski organizam može da metaboliše ove esencijalne masne kiseline (α-linolensku kiselinu i linolnu kiselinu), ipak nije u stanju da ih sintetiše, te se zbog toga nazivaju esencijalnim (Salsinha i sar., 2023).

Omega-3 polinezasićene masne kiseline uključujući α-linolensku kiselinu (ALA) i njene derivate eikozapentaensku kiselinu (EPA) i dokozaheksaensku kiselinu (DHA), su esencijalne masne kiseline koje se u većoj količini prisutne u biljnim uljima, morskoj plavoj ribi i suplementima na bazi ribljeg ulja (Brosolo i sar., 2023). ALA se ograničenom brzinom može konvertovati u EPA i DHA (Patted i sar., 2024). Prisustvo višestrukih dvostrukih veza (polinezasićenost) je ključna karakteristika ovih masnih kiselina i zahvaljujući tome, zbog svoje posebne strukture, ugljenični lanci omega-3 masnih kiselina mogu da se savijaju. Za razliku od zasićenih masnih kiselina, koje nemaju dvostruke veze i formiraju čvrste strukture, nezasićene masti su fluidnije i fleksibilnije zbog nezasićenih veza koja sprečavaju masne kiseline da se čvrsto pakuju jedna uz drugu (Patted i sar., 2024). Pored linolne kiseline, arahidonska kiselina je druga najvažnija omega-6 masna kiselina. Arahidonska kiselina se može sintetizovati konverzijom linolne kiseline kroz određene reakcije (Salsinha i sar., 2023).

Mononezasićene masne kiseline (MUFA) u uzorku CPT6 bile su prisutne u udelu od 20,88%, pri čemu se ističu *cis*-10-heptadekenska (C17:1, 7,74%) i palmitoleinska kiselina (C16:1, 2,98%). Ukupni sadržaj zasićenih masnih kiselina (SFA) iznosio je 16,46%, a najzastupljenije su palmitinska (C16:0, 6,48%) i margarinska (C17:0, 2,01%) masna kiselina. Masne kiseline kratkog i srednjeg lanca, poput maslačne (C4:0), kapronske (C6:0) i laurinske (C12:0), bile su prisutne u veoma malim količinama (manje od 0,2%). Prisutnost polinezasićenih masnih kiselina poput eikozapentaenoinske (EPA) i dokozaheksaenoinske (DHA), iako u manjim

količinama (1,21% i 1,36% respektivno), dodatno doprinosi povoljnom nutritivnom profilu uzorka.

Dobijeni podaci otvaraju mogućnosti za razvoj funkcionalnih proizvoda, naročito u formi dodataka ishrani zasnovanih na ekstraktu smeše ovih začinskih biljaka. Profil masnih kiselina ukazuje na mogućnost njihove primene u razvoju dodataka ishrani, posebno u formi koncentrisanih ekstrakata, kapsula, uljanih macerata ili emulzija koje bi omogućile efikasniji unos ovih bioaktivnih lipida. Međutim, neophodno je sprovesti dalja *in vivo* istraživanja kako bi se utvrdila biodostupnost i potencijalni fiziološki efekti masnih kiselina iz začinskih biljaka u organizmu. Takođe, potrebno je ispitati da li sinergističko delovanje prisutnih fitohemikalija (polifenolnih jedinjenja, etarskih ulja i masnih kiselina) može doprineti njihovom antiinflamatornom, kardioprotektivnom ili imunomodulatornom potencijalu. Ovi podaci bili bi ključnog značaja za validaciju njihove upotrebe kao funkcionalnih sastojaka u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji.

Tabela 57. Sastav masnih kiselina u uzorku CPT6

Masna kiselina	**CPT6**
Maslačna (buterna), **C4:0**	ND
Kapronska, **C6:0**	0,13±0,00
Kaprilna, **C8:0**	0,04±0,00
Kaprinska, **C10:0**	0,40±0,00
Undecilinska, **C11:0**	0,31±0,00
Laurinska, **C12:0**	0,17±0,00
Tridecilinska, **C13:0**	0,23±0,00
Miristinska, **C14:0**	0,77±0,00
Miristoleinska, **C14:1**	0,18±0,00
Pentadecilinska, **C15:0**	1,79±0,00
cis-10-pentadekenska, **C15:1**	4,82±0,01
Palmitinska, **C16:0**	6,48±0,02
Palmitoleinska, **C16:1**	2,98±0,00
Margarinska, **C17:0**	2,01±0,00
cis-10-heptadekenska, **C17:1**	7,74±0,01
Stearinska, **C18:0**	1,18±0,00
Oleinska, **C18:1 c+t**	3,29±0,02
Linolna, **C18:2 c+t**	50,39±0,33
γ-linolenska, **C18:3 n6**	0,62±0,00

α-linolenska, **C18:3 n3**	6,32±0,01
Arahidinska, **C20:0**	1,75±0,00
cis-11-eikozenoinska (gondoinska), **C20:1**	0,93±0,00
cis-11,14-eikozadinoinska, **C20:2**	0,37±0,01
Dihomo-γ-linolenska kiselina (DGA) **C20:3 n6 +** heneikozanonska **C21:0**	0,09±0,00
Arahidonska, **C20:4**	0,91±0,00
Eikozapentaenoinska **C20:5 (EPA) +** behenska **C22:0**	1,21±0,00
Eruka, **C22:1**	0,94±0,00
cis-13,16-dokozadinoinska, **C22:2**	0,95±0,00
Trikozilna, **C23:0**	0,48±0,00
Lignocerinska, **C24:0**	0,73±0,00
Dokozaheksaenoinska kiselina (DHA) (cervonska) **C22:6 +** nervonska **C24:1**	1,36±0,00
Total SFA	16,46±0,02
Total MUFA	20,88±0,03
Total PUFA	62,23±0,34

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3).

5.16.6. Mineralni sastav optimalne mešavine

Sadržaj minerala analiziran u odabranom uzorku CPT6 prikazan je u tabeli 58. Među makroelementima, fosfor je bio najzastupljeniji (3716,50 mg/kg). Fosfor je esencijalni nutrijent, obavlja vitalne funkcije u skeletnim i neskeletnim tkivima i ključan je u metabolizmu energije. Fosfor takođe učestvuje u prenošenju signala i izaziva složene fiziološke odgovore.

Poznato je da je homeostaza fosfora ključna za zdravlje. Preporučeni dnevni unos P za djecu do 6 mjeseci je 100 mg, za decu od 4 do 8 godina 500 mg, i za muškarce i žene 700 mg (https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-HealthProfessional). Od makroelemenata po zastupljenosti su sledeli kalcijum (2506,66 mg/kg), kalijum (1407,93 mg/kg), magnezijum (1211,41 mg/kg) i natrijum (494,64 mg/kg). Kalcijum je hemijski element koji učestvuje u izgradnji i metabolizmu kostiju. Preko 99 procenata ukupnog kalcijuma u telu nalazi se kao kalcijum hidroksiapatit ($Ca_{10}[PO_4]_6[OH]_2$) u kostima i zubima. Preporučeni dnevni unos za Ca za odojčad je 260 mg, za decu od 4-8 godina 1000 mg, i za muškarce i žene u zavisnosti od doba starosti od 1000 mg do 1200 mg (https://ods.od.nih.gov/factsheets/calcium-HealthProfessional/). Kalijum je najzastupljeniji intracelularni katjon u organizmu, a koji je prirodno prisutan u namirnicama. Neophodan je za normalno funkcionisanje ćelija zbog svoje uloge u održavanju zapremine intracelularne tečnosti i transmembranskih elektrohemijskih gradijenta. Preporučeni dnevni unos kalijuma kreće se od 0,4 grama za odojčad, 2,3 grama za decu uzrasta 4-8 godina, od 2,3 grama do 3,4 grama za žene i muškarce (https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-HealthProfessional/). Magnezijum je četvrti najzastupljeniji mineral u ljudskom telu, koji omogućava više od 300 enzimskih reakcija. Magnezijum je neophodan za sintezu nukleinskog materijala i proteina, neuromišićnu provodljivost, kontraktilnost srca, funkciju imunog sistema i drugo. Gastrointestinalni sistem i bubrezi blisko regulišu apsorpciju i eliminaciju magnezijuma kako bi održali adekvatnu koncentraciju magnezijuma (Al Alawi i sar., 2021). Preporučeni dnevni unos Mg za odojčad do 6 mjeseci je 30 mg, za decu od 4-8 godina 130 mg, muškarce i žene od 310 do 420 mg *(Institute of Medicine, National Academy of Science, 1997)* (https://ods.od.nih.gov/factsheets/magnesium-HealthProfessional/). Natrijum je primarni elektrolit koji reguliše nivoe ekstracelularne tečnosti i neophodan je za hidrataciju. Pored održavanja ravnoteže vode, natrijum je neophodan za osmotsku ravnotežu, acidobaznu ravnotežu i regulaciju zapremine

plazme, nervnih impulsa i mišićnih kontrakcija. Nedostatak natrijuma često nastaje tokom lečenja lekovima koji se nazivaju diuretici jer oni uzrokuju gubitak natrijuma iz tela. Diuretici mogu dovesti do nedostatka natrijuma, što rezultuje niskim nivoom natrijuma u plazmi. Ukupan dnevni unos natrijuma ne bi trebalo da prelazi 2400 mg/d. RDA za natrijum za odrasle (i muškarce i žene) je 500 mg/d, decu 400 mg/d, a bebe 120-200 mg/d (Guo, 2009).

Što se tiče mikroelemenata, cink je bio prisutan u najvišoj koncentraciji (80,27 mg/kg), dok su mangan i gvožđe izmereni pri koncentraciji od 59,76 mg/kg i 37,53 mg/kg, respektivno. Potom su sledeli bakar (11,44 mg/kg), nikl (1,18 mg/kg), olovo (0,91 mg/kg), kadmijum (0,47 mg/kg), hrom (0,31 mg/kg) i kobalt (0,13 mg/kg), redom. Prelazni metali, uključujući gvožđe, mangan i cink, ključni su za proizvodnju energije, zaštitu od oksidativnog stresa, regulaciju transkripcije proteina i funkciju imunog sistema (Rozenberg i sar., 2022). Nedostatak mikronutrijenata kao što su gvožđe (Fe), cink (Zn), kalcijum (Ca) i drugi esencijalni minerali može dovesti do stanja opasnih po život (npr. nedostatak gvožđa može izazvati anemiju). Međutim, izbor odgovarajuće hrane može pomoći u sprečavanju ovih nedostataka u značajnoj meri (Singh i Prasad, 2023). Bakar u biološkim sistemima može biti prisutan i u +1 i +2 valentnom stanju. Zahvaljujući tome uključen je u redoks reakcije. Sastavni je deo mnogih enzima, uključujući ceruloplazmin, citohrom c oksidazu, cink-bakar superoksid dismutazu, dopamin-monooksigenazu, lizil oksidazu, dopamin β-hidrolazu i tirozinazu. Opšte je prihvaćeno da je nikl esencijalni mikroelement kod biljaka, životinja i ljudi. Međutim, manje od 10% nikla unetog hranom i vodom za piće apsorbuje se u gastrointestinalnom traktu. Iako je biološka funkcija nikla u ljudskom telu još uvek donekle nejasna, nikl se u telu nalazi u najvećim koncentracijama u nukleinskim kiselinama, posebno RNK, i smatra se da je uključen u strukturu ili funkciju proteina. Pretpostavlja se da nikl može igrati ulogu, kao kofaktor, u aktivaciji određenih enzima povezanih sa metabolizmom glukoze. Kadmijum je element u tragovima za koji se veruje da ne igra biološki važnu ulogu u ljudskom organizmu. Generalno, lisnato povrće poput zelene salate i spanaća, krompira, žitarica, kikirikija, soje i semenki suncokreta sadrže visoke nivoe kadmijuma. Hrom kao esencijalni nutrijent (faktor tolerancije na glukozu) pojačava delovanje insulina i na taj način utiče na metabolizam ugljenih hidrata, masti i proteina (Mehri, 2020). Suštinska uloga kobalta ogleda se u tome što je sastavni deo vitamina B12, koji je jedino

poznato prirodno organometalno jedinjenje koje sadrži vezu između kobalta i ugljenika (Co–C veza). Najčešća oksidaciona stanja kobalta su +3 i +2 (Jomova i sar., 2022).

Tabela 58. Sadržaj mineralnih materija u smeši CPT6

Mineral	Sadržaj (mg/kg)
Natrijum, Na	494,64±4,02
Kalijum, K	1407,93±6,77
Kalcijum, Ca	2506,66±28,49
Magnezijum, Mg	1211,41±20,35
Fosfor, P	3716,50±22,76
Cink, Zn	80,27±1,60
Mangan, Mn	59,76±1,06
Gvožđe, Fe	37,53±0,24
Bakar, Cu	11,44±0,08
Hrom, Cr	0,31±0,01
Kobalt, Co	0,13±0,00
Nikl, Ni	1,18±0,00
Olovo, Pb	0,91±0,02
Kadmijum, Cd	0,47±0,00
Arsen, As	ND
Selen, Se	ND

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). ND – nije detektovano

5.16.7. Antimikrobna svojstva odabrane smeše korenasto-krtolastog začinskog bilja (CPT6)

Minimalne inhibitorne koncentracije (MIC) uzorka CPT6 protiv različitih mikroorganizama koji obuhvataju gram-pozitivne i gram-negativne bakterije i gljivične sojeve je procenjena i predstavljena u tabeli 59. Na osnovu dobijenih rezultata, etanolni ekstrakt uzorka CPT6 je pokazao značajne antibakterijske aktivnosti protiv *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogene*sa i *Salmonella* Typhimurium sa minimalnim inhibitornim koncentracijama u iznosu od 1,56 mg/mL, 3,125 mg/mL i 3,125 mg/mL, respektivno. Takođe, ekstrakt je pokazao i relativno nisku aktivnost protiv

Staphylococcus aureus (MIC = 100 mg/mL) i *Candida albicans* (MIC = 100 mg/mL). *Escherichia coli* i *Pseudomonas aeruginosa* su bile rezistentne prema ispitivanom ekstraktu, sa MIC vrednostima višim od 100 mg/mL. Antifungalna aktivnost protiv *Aspergillus nige*r bila je relativno niska, sa detektovanom MIC vrednošću od 100 mg/mL.

Tabela 59. Minimalna inhibitorna koncentracija smeše CPT6 protiv različitih vrsta mikroorganizama

Mikroorganizam	**MIC (mg/mL)**
Staphylococcus aureus	100
Bacillus subtilis	1,56
Listeria monocytogenes	3,125
Escherichia coli	>100
Salmonella Typhimurium	3,125
Pseudomonas aeruginosa	>100
Candida albicans	100
Aspergillus niger	100

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3).

Stoga, ovi rezultati ukazuju da uzorak CPT6 pokazuje selektivnu antimikrobnu aktivnost, sa izraženim inhibitornim dejstvom protiv odabranih gram-pozitivnih bakterija. Nasuprot tome, testirane gram-negativne bakterije i sojevi gljivica su bili otporniji prema ekstraktu. Ovo bi moglo biti povezano sa intrinzičnim mehanizmima otpornosti gram-negativnih bakterija, pod kojim se podrazumeva prisustvo spoljašnje membrane, koja ograničava difuziju većine supstanci sa antimikrobnim dejstvom. Relativno povišene vrednosti MIC etanolnog ekstrakta uzorka CPT6 ukazuju na to da, iako pokazuje izvesnu antimikrobnu aktivnost, antimikrobna aktivnost ostaje skromna u poređenju sa konvencionalnim sintetskim antibioticima. Ovaj ishod je u skladu sa očekivanjima, posebno imajući u vidu da gram-negativne bakterije poput *E. coli* i *P. aeruginosa* poseduju inherentne mehanizme otpornosti, a najznačajniji je spoljašnja membrana obogaćena lipopolisaharidima koja funkcioniše kao selektivna barijera, sprečavajući ulazak mnogih hidrofobnih fitohemikalija (Nikaido, 2003). Takođe, aktivni sistemi efluksa kao što je AcrAB-TolC doprinose otpornosti izlučivanjem supstanci sa antimikrobnim dejstvom iz unutrašnjosti bakterija, čime se

smanjuje njihova intracelularna akumulacija i efikasnost (Li i Nikaido, 2004). Dobijeni rezultati (tabela 59) ukazuju na to da bi se daljim prečišćavanjem i frakcionisanjem ekstrakta CPT6 mogla poboljšati njegova biološka aktivnost i na taj način pomoći u zaobilaženju barijera za penetraciju antimikrobnih supstanci čime bi se omogućila njegova potencijalna primena u antimikrobnim tretmanima. Iako u naučnoj literaturi nedostaju informacije o antimikrobnoj aktivnosti za uzorak CPT6, ekstrakti rizoma kurkume su ispitivani u skorašnjim istraživanjima. Naime, dobijeni rezultati uzorka CPT6 se u velikoj meri slažu sa onima koje su objavili Odo i saradnici (2023) koji su analizirali antibakterijski potencijal ekstrakta kurkume i otkrili da on pokazuje snažnu inhibiciju bakterije *Bacillus subtilis*. Istovremeno, ekstrakt nije delovao protiv *E. co*li i *P. aeruginosa* sa utvrđenim MIC vrednostima višim od 100 mg/mL. Pored toga, MIC vrednosti ekstrakta rizoma *C. longa* protiv patogenih bakterija koje se prenose hranom prema autorima Beshiru i saradnici (2024) kreću se od 0,03125–0,5 mg/mL (za etanolni ekstrakt) do 0,0625–0,5 mg/mL (za acetonski ekstrakt). Može se zaključiti da su gram-pozitivni bakterijski sojevi značajno više inhibirani kurkumom nego gram-negativni sojevi. Razlog je što kurkuminoidi, koji su po svojoj prirodi hidrofobni, pokazuju veći afinitet prema ćelijskom zidu gram-pozitivnih bakterija bogatom peptidoglikanima. Gram-negativne bakterije, sa spoljašnjom membranom koja služi kao barijera, efikasno onemogućavaju delovanje biljnih antimikrobnih supstanci (Adamczak i sar., 2020). Takođe, prethodno navedene tvrdnje nalaze uporište i u činjenici da je uzorak CPT6 pokazao ograničenu antifungalnu aktivnost, dok je prema istraživanju Alam i saradnika (2025), eterično ulje kurkume pokazalo razumnu zonu inhibicije protiv testiranih sojeva gljivica (do 29 mm) sa MIC vrednostima zabeleženim između 3,9 i 7,81 µg/ml.

Prema rezultatima predstavljenim u ovoj disertaciji, etanolni ekstrakti celera i peršuna nisu pokazali antibakterijsku aktivnost protiv *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli*. Međutim, uzorak CPT6 analiziran u ovoj studiji pokazao je značajne MIC vrednosti protiv *S. aureus*, kao i ograničenu akivnost protiv *E. coli*, što ukazuje na to da je dodavanjem praha kurkume u smešu praha celera i peršuna značajno poboljšalo njihova antibakterijska svojstva. Iako je uzorak CPT6 pokazao selektivnu antimikrobnu aktivnost protiv gram-pozitivnih bakterija, uočene vrednosti MIC protiv gram-negativnih sojeva (>100 mg/mL) ukazuju na relativno nizak antimikrobni efekat. Buduća istraživanja trebalo bi da se fokusiraju na frakcionisanje ekstrakta CPT6

kako bi se izolovali visoko aktivni sastojci i primenile napredne metode kao što je nanoenkapsulacija radi poboljšanja antimikrobne efikasnosti, posebno protiv rezistentnih bakterijskih sojeva.

5.16.8. Potencijal uzorka CPT6 za unapređenje zdravlja

Rezultati analiza biofunkcionalnih svojstava, kao što su antihiperglikemijska, antihipertenzivna i antihiperholesterolemijska aktivnost, uzorka CPT6 predstavljeni su u tabeli 60. Iz predstavljenih podataka vidljivo je da je ekstrakt uzorka CPT6 pokazao snažan antihiperglikemijski potencijal pokazujući jake inhibicije protiv α-amilaze sa 72% inhibicije (6,5 mg ACAE/g_{se}) i α-glukozidaze sa 80% inhibicije (6,8 mg ACAE/g_{se}). Takođe, smeša CPT6 (puferski ekstrakt) pri koncentraciji od 40 mg/mL je inhibirala 31,84% enzima α-glukozidaze, čime je poboljšan antihiperglikemijski efekat korena celera i peršuna, kao pojedinačnih uzoraka. Visoka inhibicija α-glukozidaze može ukazivati na moguću primenu uzorka CPT6 u kontroli postprandijalnog nivoa glukoze u krvi s ciljem prevencije pojave hiperglikemije. Ekstrakt CPT6 pokazao je i antihipertenzivnu aktivnost, gde je inhibirao 62% prisutnog ACE, i stoga bi svoju potencijalnu primenu mogao pronaći i u modulaciji krvnog pritiska. Inhibicija ACE ukazuje na to da bi se uzorak CPT6 mogao koristiti za očuvanje kardiovaskularnog zdravlja kroz regulaciju renin-angiotenzinskog sistema. Pored toga, ekstrakt CPT6 je inhibirao 55% prisutnog enzima HMG-CoA reduktaze (HMGCR), koji kontroliše brzinu biosinteze holesterola, što ukazuje na njegovu potencijalnu ulogu u kontroli nivoa holesterola i sprečavanju pojave hiperholesterolemije.

Tabela 60. Parametri povezani sa potencijalom uzorka CPT6 za unapređenje zdravlja

Parametar		**CPT6 uzorak**
Antihiperglikemijska aktivnost	α-amilaza (%)[1]	72,00±1,20
	α-amilaza-(mg ACAE/g_{se})[1]	6,50±0,31
	α-glukozidaza (%)[1]	80,00±3,43
	α-glukozidaza-(mg ACAE/g_{se})[1]	6,80±0,22
	α-glukozidaza (% pri 40 mg/mL)[2]	31,84±0,66
Antihipertenzivna aktivnost	ACE (%)[1]	62,00±1,10
Antihiperholesterolemijska aktivnost	HMGCR (%)[1]	55,00±2,02

Napomena: Rezultati su izraženi kao srednja vrednost ± standardna devijacija (n=3). [1]rezultati prikazani za suvi ekstrakt (se); [2]rezultati prikazani za smešu CPT6. ACAE – akarboza ekvivalent, ACE – angiotenzin konvertujući enzim, HMGCR – hidroksimetilglutaril-konezim A reduktaza.

Dakle, osim antimikrobnog dejstva, ekstrakt je pokazao značajnu antihiperglikemijsko, antihipertenzivno i antihiperholesterolemijsko dejstvo. Ovi rezultati su usko povezani sa rezultatima objavljenim u drugim studijama. Metaboličke efekte derivata kurkumina ispitali su Roney i saradnici (2024), gde su potvrdili njihov potencijal za inhibiciju α-glukozidaze i tako pokazali da kurkuma predstavlja izvor prirodnih jedinjenja sa antihiperglikemijskim dejstvom. Kao potvrdu, Yao i saradnici (2016) i Zhuang i saradnici (2016) su u svojim istraživanjima predstavili antihipertenzivni potencijal kurkumina, što daje osnovu za dalje testiranje uzorka CPT6, pojedinačno ili u kombinaciji sa drugim ACE inhibitorima. Takođe, pokazalo se i u ranijim istraživanjima da kurkuma ostvaruje efekte u snižavanju sadržaja lipida (Boretti, 2024).

Iz predstavljenih rezultata može se zaključiti da ekstrakt CPT6 pokazuje značajan bioaktivni potencijal, naročito u antimikrobnim aplikacijama i s posebnim fokusom na metaboličke poremećaje. Njegovo selektivno antibakterijsko delovanje prema gram-pozitivnim bakterijama, uz izraženu inhibiciju enzima povezanih s dijabetesom, hipertenzijom i hiperholesterolemijom, naglašava njegovu vrednost kao funkcionalnog bioaktivnog sastojka. Stoga su neophodna dalja istraživanja kako bi

se objasnio mehanizam delovanja i procenila efikasnost *in vivo*. Rezultati ove studije ukazuju na to da ekstrakt smeše korena celera i peršuna, u kombinaciji sa rizomom kurkume, ispoljava selektivnu antimikrobnu aktivnost i pruža specifične koristi za metaboličko zdravlje. Gram-pozitivne bakterije su bile značajno inhibirane ekstraktom, dok je dejstvo na gram-negativne bakterije i gljivice bilo relativno slabo, što je u skladu sa prethodnim studijama o biološkoj aktivnosti kurkume. S druge strane, antihiperglikemijska, antihipertenzivna i antihiperholesterolemijska aktivnost bila je u skladu sa nedavnim naučnim studijama. Na osnovu dobijenih podataka, daljom preradom smeše celera, peršuna i kurkume u nutraceutike, funkcionalnu hranu ili kao deo komplementarne terapije pomoglo bi se u prevazilaženju antimikrobne rezistencije i lečenju metaboličkih poremećaja. Uočene biološke aktivnosti mogle bi se pripisati sinergističkim efektima glavnih fitohemikalija prisutnih u smeši CPT6. Poznato je da kurkuminoidi iz kurkume, posebno kurkumin, inhibiraju enzime koji hidrolizuju ugljene hidrate i kontrolišu sistem renin-angiotenzin, dok apigenin iz celera i peršuna može doprineti inhibiciji HMG-CoA reduktaze i antioksidativnoj odbrani.

5.16.9. Potencijal primene

U poređenju sa literaturnim podacima, odabrana formulacija CPT6 pokazala je konkurentnu ili superiornu biološku aktivnost. Na primer, nedavna istraživanja funkcionalnih sastojaka hrane biljnog porekla pokazala su slične obrasce biološke aktivnosti u pogledu antioksidativnog, antihiperglikemijskog i antimikrobnog delovanja. Zhang i saradnici (2022) su pokazali da nano-inkapsulati kurkumina ispoljavaju jaku inhibiciju α-amilaze i izražen antioksidativni kapacitet, uporedive sa formulacijom CPT6 razvijenom u ovoj studiji, ali metod inkapsulacije omogućava bolju biodostupnost. Slično tome, Awari i saradnici (2024) istraživali su prah korena *Berberis aristata*, pri čemu su uočili umerenu inhibiciju α-amilaze i antibakterijski efekat protiv gram-pozitivnih bakterija, što je u skladu sa selektivnim antimikrobnim efektom zapaženim kod formulacije CPT6. Long i saradnici (2024) obogatili su testeninu, proizvedenu od tvrde pšenice, prahom dobijenim od ostataka kurkume nakon proizvodnje skroba, prijavivši značajno povećanje nivoa antioksidanata, ali bez značajnih antimikrobnih efekata protiv gram-negativnih sojeva, što je u skladu sa ograničenjima pronađenim u ovoj disertaciji. Štaviše, dodatkom proteinskih

hidrolizata iz pivskog tropa, prema istraživanju Bazsefidpar i saradnici (2024), značajno su se poboljšala antihiperglikemijska svojstva mafina. Međutim, formulacija CPT6 postigla je uporedivu biološku aktivnost bez potrebe za enzimskom hidrolizom.

Sarkar i saradnici (2022) naglasili su povezanost inhibicije enzima uključenih u metabolizmu ugljenih hidrata sa polifenolnim jedinjenjima iz kurkume i drugim biljnim sastojcima, što direktno podržava mehanističku hipotezu predloženu za formulaciju CPT6. Na kraju, Hawash i saradnici (2024) pokazali su da tradicionalne biljne mešavine mogu ponuditi višestruke biološke aktivnosti – što je potvrđeno i multifunkcionalnošću formulacije CPT6, sa snažnim antioksidativnim, antihiperglikemijskim i umerenim antimikrobnim dejstvima. Ova poređenja sa prethodnim istraživanjima naglašavaju konkurentske performanse formulacije CPT6 i dodatno potvrđuju njezin potencijal kao multifunkcionalne mešavine za primenu u funkcionalnim proizvodima. Pored toga, na osnovu svoje multifunkcionalne biološke aktivnosti i povoljnog senzorskog profila, formulacija CPT6 je posebno pogodna za primenu kao funkcionalni prah za pripremu čaja, koji može biti namenjen posebnim kategorijama potrošača, odnosno pojedincima koji boluju od dijabetesa tipa 2 ili drugih metaboličkih poremećaja. Izražena antioksidativna svojstva i inhibitorni efekat na α-glukozidazu, sugerišu na obećavajući potencijal mešavine korenasto-krtolastih začinskih biljaka za uključivanje u specijalizovane dijetetske i nutraceutske formulacije.

Još jedan korak ka implementaciji jeste upotreba specifičnih matematičkih alata za evaluaciju studije. Za razliku od većine prethodnih studija, koje su se pretežno oslanjale na konvencionalne statističke metode, ovo istraživanje integriše napredne matematičke proračune, uključujući analizu glavnih komponenti, modelovanje veštačkim neuronskim mrežama i analizu standardnih ocena, kako bi se optimizovala formulacija. Matematički alati su omogućili predikcije usaglašenosti senzorskog kvaliteta i biološke aktivnosti na osnovu ulaznih promenljivih, doprinoseći robusnijem razumevanju interakcija među komponentama smeše. Upotreba ovih alata u optimizaciji sastava formulacije predstavlja metodološki napredak koji do sada nije bio primenjen u nedavnim studijama mešavine kurkume i drugih korenasto-krtolastih biljaka, čime se uvodi inovativna dimenzija u razvoj multikomponentne funkcionalne formulacije.

Iako ova studija pruža vredne uvide u funkcionalna i senzorska svojstva mešavine celera, peršuna i kurkume, postoje i određena ograničenja. Senzorska evaluacija je sprovedena sa panelom od 12 obučenih ocenjivača, što možda ne odražava u potpunosti šire preferencije potrošača. Pored toga, iako je eksperimentalni dizajn omogućio sistematsko ispitivanje efekata sastava smeše, testirano je 10 formulacija, a studija se fokusirala na jedan metod pripreme (vodena ekstrakcija). Buduća istraživanja trebalo bi da potvrde ove nalaze i sa različitim formatima pripreme (npr. suve mešavine, kapsule ili uslovima kulinarske upotrebe). Pored toga, preporučuju se i istraživanja sa velikim brojem učesnika iz različitih kulturnih sredina kako bi se potvrdile senzorske preferencije i prihvatljivost proizvoda na tržištu. Nadovezujući se na rezultate, buduća istraživanja trebalo bi takođe da istraže dugoročnu stabilnost CPT6 formulacije, sa posebnim osvrtom na ispitivanje eventualne promene sastava njenih bioaktivnih jedinjenja i senzorskog kvaliteta u različitim uslovima skladištenja. U skladu sa tim, mogao bi se ispitati i uticaj inkapsulacije ekstrakta CPT6 sa različitim jestivim nosačima u cilju boljeg očuvanja bioaktivnih jedinjenja tokom skladištenja ili tehnoloških postupaka prerade. Predmet daljih istraživanja bi takođe mogao da bude i ispitivanje bioraspoloživosti i efikasnosti polifenolnih jedinjenja smeše u *in vivo* uslovima kao i da se sa različitih nutritivno-zdravstvenih aspekata procene efekti inkorporacije smeše (ekstrakta) u inovativne prehrambene proizvode sa poboljšanjim nutritivnim sastavom u vidu supa, čajeva ili nutraceutskih formulacija.

6. ZAKLJUČAK

U ovoj doktorskoj disertaciji ispitan je uticaj različitih postupaka sušenja na hemijski sastav i biološki potencijal korena celera i peršuna i rizoma kurkume, uključujući sušenje u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi, konvektivno sušenje na 60 °C i 90 °C i liofilizaciju.

U prvoj fazi doktorske disertacije, cilj je bio da se uporede uticaji navedenih postupaka sušenja na sadržaj polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, ukupnih flavonoida, ukupnih flavonola i ukupnih flavan-3-ola), sadržaj pojedinačnih polifenolnih jedinjenja određen HPLC metodom, antioksidativnu aktivnost ($DPPH^{\bullet}$ test, $ABTS^{\bullet+}$ test i FRAP), antihiperglikemijsku (antidijabetičku) aktivnost, antimikrobnu aktivnost, fizičko-hemijske karakteristike (aktivnost vode (a_w), sadržaj suve materije, ukupnog pepela, sirovih masti, sirovih proteina, kvantitativni i kvalitativni sastav masnih kiselina, mineralni sastav i boju) svežih i osušenih uzoraka celera, peršuna i kurkume.

Na osnovu dobijenih podataka utvrđeno je da su postupci sušenja uticali na fizičko-hemijski sastav i bioaktivnost uzoraka. Sadržaj vlage i aktivnost vode značajno su smanjeni u svim osušenim uzorcima u odnosu na kontrolni uzorak. Sadržaj sirovih masti bio je najniži kod svih kontrolnih uzoraka, što se može objasniti sa smanjenim sadržajem vode u osušenim uzorcima, gde voda kao polarna supstanca, utiče na efikasnost ekstrakcije. Postupci sušenja su različito uticali na sadržaj pepela za svaku biljnu vrstu, dok je najviši sadržaj sirovih proteina zabeležen u uzorcima osušenim na sobnoj temperaturi. Postupci sušenja su takođe različito uticali na ispitivane biljne vrste u pogledu sadržaja ukupnih polifenola. Pa je tako, među osušenim uzorcima, najviši sadržaj ukupnih polifenola zabeležen u liofilizovanom rizomu kurkume (44,92 mg GAE/g_{sm}), u korenu peršuna osušenog na sobnoj temperaturi u otvorenom prostoru (1,58 mg GAE/g_{sm}) i u korenu celera osušenog na 60 °C (1,44 mg GAE/g_{sm}). Liofilizovani rizomi kurkume pokazali su najbolji antioksidativni potencijal na DPPH i ABTS slobodne radikale, kao i FRAP testu (IC_{50}^{DPPH}=163,99 µg/mL, IC_{50}^{ABTS}=18,16 µg/mL, FRAP=619,72 µmol Fe^{2+}/g_{sm}). Što se tiče uzoraka celera i peršuna, osušeni u otvorenom prostoru na sobnoj temperaturi pokazali su najbolju antioksidativnu aktivnost (IC_{50}^{DPPH}=13,88 mg/mL i 13,25 mg/mL; IC_{50}^{ABTS}=1,02 mg/mL i 0,92 mg/mL; FRAP= 14,21 µmol Fe^{2+}/g_{sm} i 16,05 µmol Fe^{2+}/g_{sm}, respektivno). Očuvanje boje prehrambenih sirovina tokom

tehnoloških postupaka je veoma važna stavka u prehrambenoj tehnologiji, budući da izgled u značajnoj meri utiče na senzorski kvalitet finalnog proizvoda. U tom smislu, uzorci korena celera osušeni na 90 °C, liofilizovani uzorci rizoma kurkume i korena peršuna su bili, s obzirom na vrednosti parametara boje a* i b*, najsličniji svojim kontrolnim uzorcima. Uzimajući u obzir nekoliko parametara (sadržaj ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola, flavan-3-ola, $DPPH^{\bullet}$, $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP antioksidativne testove, kao i boju uzoraka) i uz primenu statističkih metoda, izabrani su optimalni postupci sušenja za svaku biljnu vrstu, sa najvišim standardnim ocenama: za koren celera konvektivno sušenje na 90 °C i liofilizacija za koren peršuna i rizom kurkume. U uzorcima celera i peršuna značajno je izmenjen i sadržaj zasićenih, mononezasićenih i polinezasićenih masnih kiselina u odnosu na kontrolni uzorak. Sadržaj zasićenih i mononezasićenih masnih kiselina u TRT uzorku bio je sličan kao u kontrolnom, a sadržaj polinezasićenih masnih kiselina u uzorcima T60, T90 i TFD je bio sličan kontrolnom. Najdominantnija masna kiselina u svežem korenu celera bila je linolna (43,01%), kao i u osušenim uzorcima, osim u CRT uzorku gde je bila dominantna arahidinska kiselina (44,05%). U svim uzorcima korena peršuna bila je najdominantnija linolna kiselina (75,16-77,50%, za osušene uzorke), dok je u uzorcima rizoma kurkume bila dominantna *cis*-10-heptadekenska kiselina C17:1 (15,17-30,91%). U kontrolnim uzorcima celera i peršuna, od makroelemenata bili su najzastupljeniji kalijum i fosfor (1155,45 i 665,36 mg/100g_{sm}; 758,27 i 466,85 mg/100$g_{sm,}$ respektivno), a od mikroelemenata cink (9,59 i 13,39 mg/100g_{sm}, respektivno), dok su u osušenim uzorcima najdominantniji bili fosfor i kalcijum (635,55-782,42 mg/100g_{sm} i 366,37-450,15 mg/100g_{sm}, 331,55-375,81 mg/100g_{sm} i 282,96-323,70 mg/100g_{sm}, respektivno), a od mikroelemenata takođe cink (10,11-12,85 mg/100g_{sm} i 9,39-11,55 mg/100g_{sm}, respektivno). U kontrolnom uzorku kurkume, od makroelemenata bili su najzastupljeniji kalijum (1134,31 mg/100g_{sm}) i magnezijum (247,85 mg/100g_{sm}), a od mikroelemenata gvožđe (24,34 mg/100g_{sm}) i mangan (16,47 mg/100g_{sm}), dok su u osušenim uzorcima dominirali magnezijum (25,95-302,40 mg/100g_{sm}), fosfor (138,56-187,34 mg/100g_{sm}) i kalijum (108,38-385,34 mg/100g_{sm}), a od mikroelemenata mangan (10,21-16,28 mg/100g_{sm}) i gvožđe (2,03-17,20 mg/100g_{sm}).

Potvrđena je i Pearson-ova linearna, statistički značajna korelacija između polifenolnih jedinjenja (ukupnih polifenola, flavonoida, flavonola i flavan-3-ola) i antioksidativne aktivnosti, naročito između polifenolnih jedinjenja i $ABTS^{\bullet+}$ i FRAP antioksidativnih testova ($p \leq 0,01$).

Od polifenolnih jedinjenja u uzorcima CF, CRT i C60 dominirale su protokatehinska i vanilinska kiselina, sa izmenjenim sadržajem, sa ili bez statističke razlike, u odnosu na kontrolni uzorak, dok su u uzorku C90 bile dominantne *p*-hidroksibenzoeva (35,50 $\mu g/100g_{sm}$) i galna kiselina (36,43 $\mu g/100g_{sm}$), a u uzorku CFD galna kiselina (15,67 $\mu g/100g_{sm}$) i vanilinska kiselina (27,22 $\mu g/100g_{sm}$). U kontrolnom uzorku peršuna najdominantnija je bila ferulna kiselina (95,06 $\mu g/100g_{sm}$), a čiji je sadržaj značajno smanjen u svim osušenim uzorcima i do oko 13 puta. Ova kiselina ostala je dominantna i u osušenim uzorcima korena peršuna osim u uzorku PRT, gde je epikatehin bio detektovan u nešto višoj koncentraciji (9,71 $\mu g/100g_{sm}$) u odnosu na ferulnu kiselinu (7,52 $\mu g/100g_{sm}$). Takođe, u uzorcima celera i peršuna na hromatogramu su uočeni značajni pikovi čija retenciona vremena odgovaraju apiinu, ali zbog nedostatka standarda nije kvantifikovan. U odnosu na prethodna dva uzorka, u rizomu kurkume uočen je širi spektar polifenolnih jedinjenja. Kvercetin je bio najdominantniji u svim uzorcima (7,92-17,57 $\mu g/100g_{sm}$) (osim u uzorku TFD gde je bio najdominantniji katehin, 4,92 $\mu g/100g_{sm}$). Osušeni uzorci rizoma kurkume pokazali su najizraženije antidijabetičko dejstvo u odnosu na uzorke celera i peršuna. Uzorak kurkume imao je najveću koncentraciju ukupnih polifenola u poređenju sa dva druga testirana uzorka, što je verovatno imalo uticaja na ovakav rezultat.

Ekstrakti rizoma kurkume pokazali su dobru antimikrobnu aktivnost protiv gram-pozitivne bakterije *Staphylococcus aureus* (8,67-11,33 mm), ali ne i protiv gram-negativne *Escherichia coli*. Ekstrakti celera i peršuna nisu pokazali antimikrobnu aktivnost protiv testiranih mikroorganizama.

Nakon izbora optimalnog postupka sušenja za koren celera i peršuna te rizoma kurkume, u drugoj fazi doktorske disertacije ispitan je uticaj variranja sastava mešavine ovog korenasto-krtolastog začinskog bilja na njen hemijski sastav, antioksidativnu aktivnost i senzorski kvalitet korišćenjem simplex-lattice dizajna. Dobijeni podaci su poslužili za razvoj novog, inovativnog proizvoda sa prihvatljivim

senzorskim kvalitetom i poboljšanim biološkim potencijalom uvažavajući tradicionalne prehrambene navike potrošača na našem prostoru. Analiza je pokazala da rizomi kurkume sadrže značajno veće nivoe polifenolnih jedinjenja, u poređenju sa korenom celera i peršuna. Shodno tome, antioksidativna aktivnost rizoma kurkume bila je znatno veća nego kod druga dva uzorka. Dodavanje kurkume uzorcima celera i/ili peršuna rezultovalo je primetnim i značajnim poboljšanjem antioksidativne aktivnosti celera i/ili peršuna. Osim poboljšanja biološke aktivnosti, dodatkom rizoma kurkume, poboljšan je i senzorski kvalitet korena celera (smeše CT5 i CT8 u odnosu na CO) i peršuna (PT2 u odnosu na PO), kao i smeše celera i peršuna u kombinaciji sa rizomom kurkume (CPT6 u odnosu na CP7 i CP9). Rezultati statističkih testova nad modelima konstruisanim korišćenjem veštačkih neuronskih mreža (ANN) pokazali su da ANN mogu efikasno predvideti izlazne parametre kao što su sadržaj ukupnih polifenola, DPPH, FRAP, sadržaj sirovih proteina, sadržaj pepela, sadržaj sirovih masti i parametre boje (L, a*, b*, C* i h). Iako su ovi parametri pokazali izrazito poklapanje modela sa eksperimentalnim vrednostima i niske stope grešaka, bilo bi od koristi dalje usavršavanje modela za parametre kao što su ocene usaglašenosti senzorskog kvaliteta i $ABTS^{\bullet+}$ test kako bi se smanjile greške u predviđanju i poboljšala tačnost. Mešavina označena kao CPT6 (sastavljena od jednakih delova celera, peršuna i kurkume) je identifikovana kao najpovoljnije rešenje, sa vrlodobrom ocenom usaglašenosti senzorskog kvaliteta i biološkim potencijalom. Poznato je da se celer i peršun tradicionalno koriste u ishrani našeg stanovništva, dok je kurkuma slabije korišćena u domaćinstvima. S obzirom na izuzetne nutritivne vrednosti kurkume, mešanjem ovih začina dobio se novi proizvod sa poboljšanim biološkim potencijalom, a koja svoju namenu može pronaći kako u domaćinstvima tako i u prehrambenoj industriji. Suvi ekstrakt uzorka CPT6 pokazao je značajno antidijabetičko (za α-amilazu 6,50 mg ACAE/g_{se} i α-glukozidazu 6,80 mg ACAE/g_{se}), antihipertenzivno ($I\%^{ACE}$=62,00) i antihiperholesterolemijsko ($I\%^{HMGCR}$=55,00) dejstvo, kao i veoma dobru antimikrobnu aktivnost protiv gram-pozitivnih bakterija. Mešavina sastavljena od jednakih delova celera, peršuna i kurkume mogla bi se koristiti u svakodnevnom životu ili industriji u funkciji začina, mešavine čaja ili funkcionalne hrane sa snažnom biološkom aktivnošću i povoljnim uticajem na zdravlje. Buduća istraživanja trebalo bi da se fokusiraju na izolaciju i karakterizaciju bioaktivnih jedinjenja odgovornih za uočene efekte, kao i na razvoj

prototipova funkcionalne hrane ili nutraceutika koji uključuju mešavinu CPT6. Ovi koraci bi podržali njenu praktičnu primenu kao multifunkcionalnog sastojka u prehrambenim proizvodima orijentisanim ka unapređenju zdravlja.

Razvoj novih proizvoda u prehrambenoj industriji je aktivnost koja je strateški važna komponenta svakog uspešnog poslovnog sistema. Takođe, razvojem novog proizvoda doprinelo bi se većoj upotrebi ovih kvalitetnih sirovina (korena celera i peršuna), a koje se uzgajaju na našem prostoru. S obzirom na to da je sproveden mali broj naučnih studija o uticaju različitih postupaka sušenja korena celera i peršuna i rizoma kurkume na njihovu biološku aktivnosti, ovaj rad predstavlja izvestan doprinos u ovoj oblasti i sugeriše upotrebu sušenih začina kao dobrih izvora bioaktivnih jedinjenja kao dela svakodnevne ishrane ili u prehrambenoj industriji.

7. LITERATURA

1. Aboody, M. S. A. (2021). Cytotoxic, antioxidant, and antimicrobial activities of Celery (Apium graveolens L.). *Bioinformation*, *17*(1), 147–156. https://doi.org/10.6026/97320630017147
2. Adamczak, A., Ożarowski, M., & Karpiński, T. M. (2020). Curcumin, a Natural Antimicrobial Agent with Strain-Specific Activity. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, *13*(7), 153. https://doi.org/10.3390/ph13070153
3. Agyare, C., Appiah, T., Boakye, Y. D., & Apenteng, J. A. (2017). Chapter 25 - Petroselinum crispum: A Review. In V. Kuete (Ed.), *Medicinal Spices and Vegetables from Africa* (pp. 527–547). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00025-X
4. Ahmad, I., Nafees, M., Maryam, I., Ashraf, A., Maqsood, A., & Saqib, M. (2022). Effect of drying methods on physiochemical characteristics and mineral composition of mulberry fruits. *Sarhad Journal of Agriculture*, *38*(5), 35–42. https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2022/38.5.35.42
5. Ahmed, F. A., Baraka, D. M., Abdel-Mawgoud, M., Essawy, H. S., & Elbadawy, H. F. (2021). Phenolic Compounds, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Some Plants Belonging to Family Apiaceae. *Benha Journal of Applied Sciences*, *6*(6), 299–308. https://doi.org/10.21608/bjas.2021.214829
6. Ahmed, J. (2018). Drying of Vegetables: Principles and Dryer Design. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 381–405). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch16
7. Akpalo, A. E., Saloufou, I. K., Eloh, K., & Kpegba, K. (2020). Wound healing biomolecules present in four proposed soft aqueous extractions of Ageratum conyzoides Linn. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *14*(2), Article 2. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i2.26
8. Akram, M., Shahab-Uddin, A. A., Ahmed, A., Usmanghani, K., Hannan, A., Mohiuddin, E., & Asif, M. (2010). Curcuma longa and curcumin: A review article. *Akram, M., Shahab-Uddin, A. A., Ahmed, A., Usmanghani, K., Hannan, A., Mohiuddin, E., et al. (2010). Curcuma Longa and Curcumin: A Review Article. Romanian Journal of Plant Biology*, *55*(2), 65–70.
9. Akter, J., Hossain, Md. A., Takara, K., Islam, Md. Z., & Hou, D.-X. (2019). Antioxidant activity of different species and varieties of turmeric (*Curcuma* spp): Isolation of active compounds. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, *215*, 9–17. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.09.002
10. Al Alawi, A. M., Al Badi, A., Al Huraizi, A., & Falhammar, H. (2021). Chapter Six - Magnesium: The recent research and developments. In N. A. M. Eskin (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 96, pp. 193–218). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.01.001
11. Alam, S., Chowdhury, Md. N. R., Hossain, Md. A., Richi, F. T., Emon, N. U., Mohammad, M., Ahmed, N., & Taher, M. A. (2025). Antifungal Potentials of Asian Plants: Ethnobotanical Insights and Phytochemical Investigations. *Chemistry & Biodiversity*, e202402867. https://doi.org/10.1002/cbdv.202402867

12. Alara, O. R., Abdurahman, N. H., Abdul Mudalip, S. K., & Olalere, O. A. (2018). Mathematical modeling of thin layer drying using open sun and shade of *Vernonia amygdalina* leaves. *Agriculture and Natural Resources*, *52*(1), 53–58. https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.05.013
13. Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Food and Bioproducts Processing*, *80*(2), 118–128. https://doi.org/10.1205/09603080252938753
14. Alobaidi, S. (2024). Renal health benefits and therapeutic effects of parsley (Petroselinum crispum): A review. *Frontiers in Medicine*, *11*, 1494740. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1494740
15. Alvarado, R. M. A., & Linnemann, A. R. (2010). The predictive value of a small consumer panel for coffee-cupper judgment. *British Food Journal*, *112*(9), 1023–1032. https://doi.org/10.1108/00070701011074372
16. Amalraj, A., Pius, A., Gopi, S., & Gopi, S. (2016). Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, *7*(2), 205–233. https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.05.005
17. Anukriti, & Neetu, S. (2021). Effect of different drying methods on physiochemical and functional properties of selected vegetables. *International Journal of Food Science and Nutrition*, *6*(2), 22–28.
18. AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (K. Helrich, Ed.; 15th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
19. AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis* (17th Edition). Association of Official Analytical Chemists.
20. Araújo, C. C., & Leon, L. L. (2001). Biological activities of Curcuma longa L. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, *96*(5), 723–728. https://doi.org/10.1590/s0074-02762001000500026
21. Arsenov, D., Župunski, M., Pajević, S., Nemeš, I., Simin, N., Alnuqaydan, A. M., Watson, M., Aloliqi, A. A., & Mimica-Dukić, N. (2021). Roots of Apium graveolens and Petroselinum crispum—Insight into Phenolic Status against Toxicity Level of Trace Elements. *Plants*, *10*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/plants10091785
22. Arslan, A., & Alibaş, İ. (2024). Assessing the effects of different drying methods and minimal processing on the sustainability of the organic food quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *94*, 103681. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103681
23. Assegehegn, G., Brito-de la Fuente, E., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2020). Freeze-drying: A relevant unit operation in the manufacture of foods, nutritional products, and pharmaceuticals. *Advances in Food and Nutrition Research*, *93*, 1–58. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.04.001
24. Awari, A., Kumar, M., Kaushik, D., Amarowicz, R., Proestos, C., Wahab, R., Khan, M. R., Tomasevic, I., Oz, E., & Oz, F. (2024). Proximate Analysis and Techno-Functional Properties of Berberis aristata Root Powder: Implications for

Food Industry Applications. *Foods*, *13*(17), Article 17. https://doi.org/10.3390/foods13172802

25. Babaei Rad, S., Mumivand, H., Mollaei, S., & Khadivi, A. (2025). Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of Capparis spinosa L. fruits. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 133. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06110-y
26. Babiker, E. E., Ahmed, I. A. M., Uslu, N., Özcan, M. M., Juhaimi, F. A., Ghafoor, K., & Almusallam, I. A. (2021). Influence of Drying Methods on Bioactive Properties,Fatty Acids and Phenolic Compounds of Different Parts of Ripe and Unripe Avocado Fruits. *Journal of Oleo Science*, *70*(4), 589–598. https://doi.org/10.5650/jos.ess20343
27. Bajić, A., Pezo, L. L., Stupar, A., Filipčev, B., Cvetković, B. R., Horecki, A. T., & Mastilović, J. (2020). Application of lyophilized plum pomace as a functional ingredient in a plum spread: Optimizing texture, colour and phenol antioxidants by ANN modelling. *LWT*, *130*, 109588. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109588
28. Bamigboye, A. Y., Adepoju, O. T., & Oladipo, P. O. (2020). Evaluation of Physicochemical Properties and Mineral Content of some Indigenous Spices Retailed in Ibadan, Nigeria. *International Journal of Nutrition*, *6*(1), 20–34. https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-20-3471
29. Barbosa, G. B., Alinapon, C. V., & Pabiona, M. G. (2022). Essential Macro-Minerals, Crude Protein And Total Antioxidant Activity Of Powdered Ginger And Turmeric At Varied Drying Methods. *CMU Journal of Science*, *26*(1), Article 1. https://doi.org/10.52751/hzmg1570
30. Barbosa, G. B., & Minguillan, J. M. O. (2021). Antioxidant activity and total phenolic content of fresh and cured rhizomes of Curcuma longa and Etlingera philippinensis. *International Food Research Journal*, *28*(4), 839–847.
31. Bazsefidpar, N., Ghandehari Yazdi, A. P., Karimi, A., Yahyavi, M., Amini, M., Ahmadi Gavlighi, H., & Simal-Gandara, J. (2024). Brewers spent grain protein hydrolysate as a functional ingredient for muffins: Antioxidant, antidiabetic, and sensory evaluation. *Food Chemistry*, *435*, 137565. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137565
32. Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, *299*, 15–27. https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99005-5
33. Berk, Z. (2013). Chapter 22—Dehydration. In Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology (Second Edition)* (pp. 511–566). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415923-5.00022-8
34. Beshiru, A., Igbinosa, I. H., Salami, J. O., Uwhuba, K. E., Ogofure, A. G., Azazi, G. M., Igere, B. E., Anegbe, B., Evuen, U. F., & Igbinosa, E. O. (2024). Curcuma longa rhizome extract: A potential antibiofilm agent against antibiotic-resistant

foodborne pathogens. *Biofouling*, *40*(10), 932–947. https://doi.org/10.1080/08927014.2024.2432963

35. Bhardwaj, R. L., Parashar, A., Parewa, H. P., & Vyas, L. (2024). An Alarming Decline in the Nutritional Quality of Foods: The Biggest Challenge for Future Generations' Health. *Foods*, *13*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/foods13060877
36. Binello, A., Grillo, G., Barge, A., Allegrini, P., Ciceri, D., & Cravotto, G. (2020). A Cross-Flow Ultrasound-Assisted Extraction of Curcuminoids from Curcuma longa L.: Process Design to Avoid Degradation. *Foods*, *9*(6), 743. https://doi.org/10.3390/foods9060743
37. Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, *19*, e01585. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585
38. Boadu, V. G., Essuman, E. K., Otoo, G. S., & Bigson, K. (2021). The Impact of Different Drying Techniques on the Physicochemical and Quality Characteristics of Oil Palm Fruit Mesocarp (Elaeis guineensis). *International Journal of Food Science*, *2021*, 2005502. https://doi.org/10.1155/2021/2005502
39. Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A., Leschik-Bonnet, E., Müller, M. J., Oberritter, H., Schulze, M., Stehle, P., & Watzl, B. (2012). Critical review: Vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *European Journal of Nutrition*, *51*(6), 637–663. https://doi.org/10.1007/s00394-012-0380-y
40. Boretti, A. (2024). Curcumin-Based Fixed Dose Combination Products for Cholesterol Management: A Narrative Review. *ACS Pharmacology & Translational Science*, *7*(2), 300–308. https://doi.org/10.1021/acsptsci.3c00234
41. Brewer, M. S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *10*(4), 221–247. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x
42. Brlek, T., Pezo, L., Voća, N., Krička, T., Vukmirović, Đ., Čolović, R., & Bodrža-Solarov, M. (2013). Chemometric approach for assessing the quality of olive cake pellets. *Fuel Processing Technology*, *116*, 250–256. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.07.006
43. Brosolo, G., Da Porto, A., Marcante, S., Picci, A., Capilupi, F., Capilupi, P., Bertin, N., Vivarelli, C., Bulfone, L., Vacca, A., Catena, C., & Sechi, L. A. (2023). Omega-3 Fatty Acids in Arterial Hypertension: Is There Any Good News? *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(11), 9520. https://doi.org/10.3390/ijms24119520
44. Butnariu, M., & Butu, A. (2015). Chemical Composition of Vegetables and Their Products. In P. C. K. Cheung & B. M. Mehta (Eds.), *Handbook of Food Chemistry* (pp. 627–692). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5_17

45. Charan, T. R., Bhutto, M. A., Bhutto, M. A., Tunio, A. A., Murtaza, G., Aftab, U., Kandhro, F., & Khaskheli, S. A. (2022). Comparative analysis by total yield, antimicrobial and phytochemical evaluation of curcuminoid of district Kasur: With its potential use and characterization in electrospinning nanofibers. *Journal of Industrial Textiles*, *52*. https://doi.org/10.1177/15280837221111457
46. Choi, Y., Kim, W., Lee, J.-S., Youn, S. J., Lee, H., & Baik, M.-Y. (2020). Enhanced Antioxidant Capacity of Puffed Turmeric (Curcuma longa L.) by High Hydrostatic Pressure Extraction (HHPE) of Bioactive Compounds. *Foods*, *9*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/foods9111690
47. Chumroenphat, T., Somboonwatthanakul, I., Saensouk, S., & Siriamornpun, S. (2021). Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods. *Food Chemistry*, *339*, 128121. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128121
48. Ciulu, M., Cádiz-Gurrea, M. de la L., & Segura-Carretero, A. (2018). Extraction and Analysis of Phenolic Compounds in Rice: A Review. *Molecules*, *23*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/molecules23112890
49. Ciurzyńska, A., Karwacka, M., Janowicz, M., & Galus, S. (2025). Evaluation of the Influence of Coating and Coating Composition on the Sorption Properties of Freeze-Dried Carrot Bars. *Molecules*, *30*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/molecules30081716
50. Clemenson, S., Muggeridge, M., & Clay, M. (2012). Quality specifications for herbs and spices. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)* (pp. 25–41). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1533/9780857095671.25
51. CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). (2020). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. CLSI Supplement M100, 30th ed.* CLSI.
52. Cook, C. M., & Lanaras, T. (2016). Essential Oils: Isolation, Production and Uses. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 552–557). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00261-0
53. Coşansu, S., Gündoğdu, E., Altuntaş, E. G., & Juneja, V. K. (2024). Increased thermal sensitivity of *Escherichia coli* O157:H7 in sous vide cooked ground beef supplemented with celery (*Apium graveolens* L.) seed oil or root powder. *LWT*, *214*, 117121. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117121
54. David, F., Sandra, P., & Vickers, A. (2005). *Column Selection for the Analysis of Fatty Acid Methyl Esters.* Application Note, publication number 5989-3760EN, Agilent Technologies.
55. Deng, B., Zhao, J., He, M., & Tian, S. (2023). Curcumin treatment enhances bioactive metabolite accumulation and reduces enzymatic browning in soybean sprouts during storage. *Food Chemistry: X*, *17*, 100607. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100607

56. Dhakal, S., Pandey, D., van der Heide, M. E., Nørgaard, J. V., Vrhovsek, U., & Khanal, P. (2024). Effect of different drying methods on the nutritional composition and phenolic compounds of the brown macroalga, Fucus vesiculosus (Fucales, Phaeophyceae). *Journal of Applied Phycology*, *36*(6), 3649–3663. https://doi.org/10.1007/s10811-024-03343-6
57. Dincheva, I., Badjakov, I., & Galunska, B. (2023). New Insights into the Research of Bioactive Compounds from Plant Origins with Nutraceutical and Pharmaceutical Potential. *Plants*, *12*(2), 258. https://doi.org/10.3390/plants12020258
58. Dinev, N., & Mitova, I. (2014). Yield and quality of parsley depend on water quality. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *20*, 337–341.
59. Dobričević, N., Šic Žlabur, J., Voća, S., Pliestić, S., Galić, A., Delić, A., & Fabek Uher, S. (2019). Bioactive compounds content and nutritional potential of different parsley parts (Petroselinum crispum Mill). *Journal of Central European Agriculture*, *20*(3), 900–910. https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2417
60. Dong, W., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J., & Tan, L. (2017). Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food Chemistry*, *234*, 121–130. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156
61. Dorsey, B. M., & Jones, M. A. (2017). Healthy components of coffee processing by-products. In *Handbook of Coffee Processing By-Products* (pp. 27–62). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00002-5
62. Doseděl, M., Jirkovský, E., Macáková, K., Krčmová, L. K., Javorská, L., Pourová, J., Mercolini, L., Remião, F., Nováková, L., & Mladěnka, P. (2021). Vitamin C—Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination. *Nutrients*, *13*(2), 615. https://doi.org/10.3390/nu13020615
63. Driscoll, R. H. (2014). Dehydration. In B. Lamsal, S. Jung, & S. Clark (Eds.), *Food Processing: Principles and Applications* (2nd Edition, pp. 61–78). Wiley Blackwell.
64. Đurović, V., Mandić, L., Igrošanac, M., Radovanović, M., Pešaković, M., Mladenović, J., & Đukić, D. (2023). Celery ("Apium graveolens L.") as a source of phytochemicals with antioxidant and antibacterial effects. *Proceedings*. 1st International Symposium on Biotechnology. https://doi.org/10.46793/SBT28.315DJ
65. Ebbensgaard, A., Mordhorst, H., Aarestrup, F. M., & Hansen, E. B. (2018). The Role of Outer Membrane Proteins and Lipopolysaccharides for the Sensitivity of Escherichia coli to Antimicrobial Peptides. *Frontiers in Microbiology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02153
66. Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A., & Czyzowska, A. (2021). Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *61*(1), 149–178. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1722060

67. El Mannoubi, I. (2023). Impact of different solvents on extraction yield, phenolic composition, in vitro antioxidant and antibacterial activities of deseeded Opuntia stricta fruit. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, *9*(2), 176–184. https://doi.org/10.1007/s43994-023-00031-y
68. Erceg, T., Aćimović, M., Šovljanski, O., Lončar, B., Tomić, A., Pavlović, M., Vukić, V., & Hadnađev, M. (2024). Preparation and characterization of carboxymethylated pullulan/butyric acid-modified chitosan active sustainable bi-layer coatings intended for packaging of cheese slices. *International Journal of Biological Macromolecules*, *277*(Pt 2), 134053. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134053
69. Farzaei, M. H., Abbasabadi, Z., Ardekani, M. R. S., Rahimi, R., & Farzaei, F. (2013). Parsley: A review of ethnopharmacology, phytochemistry and biological activities. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, *33*(6), 815–826. https://doi.org/10.1016/S0254-6272(14)60018-2
70. Formagio, A. S. N., Volobuff, C. R. F., Santiago, M., Cardoso, C. A. L., Vieira, M. do C., & Pereira, Z. V. (2014). Evaluation of Antioxidant Activity, Total Flavonoids, Tannins and Phenolic Compounds in Psychotria Leaf Extracts. *Antioxidants*, *3*(4), 745–757. https://doi.org/10.3390/antiox3040745
71. Garcìa, L. M., Ceccanti, C., Negro, C., De Bellis, L., Incrocci, L., Pardossi, A., & Guidi, L. (2021). Effect of Drying Methods on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Urtica dioica L. Leaves. *Horticulturae*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/horticulturae7010010
72. Garcia-Amezquita, L. E., Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F. T., & Bermúdez-Aguirre, D. (2016). Freeze-drying: The Basic Process. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 104–109). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00328-7
73. Gawish, M., Farouk, R., M., R., Mashaly, H., & Helmy, H. (2016). Eco-Friendly Multifunctional Properties of Cochineal and Weld for Simultaneous Dyeing and Finishing of Proteinic Fabrics. *International Journal of Engineering and Technology*, *8*, 2246–2253. https://doi.org/10.21817/ijet/2016/v8i5/160805123
74. Ghasemzadeh, A., Maryam, A., Omid, S., & Hawa Z. E., J. (2012). Flavonoid compounds and their antioxidant activity in extract of some tropical plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*(13). https://doi.org/10.5897/JMPR11.1531
75. Godlewska, K., Pacyga, P., Michalak, I., Biesiada, A., Szumny, A., Pachura, N., & Piszcz, U. (2020). Field-Scale Evaluation of Botanical Extracts Effect on the Yield, Chemical Composition and Antioxidant Activity of Celeriac (Apium graveolens L. Var. Rapaceum). *Molecules*, *25*(18), Article 18. https://doi.org/10.3390/molecules25184212
76. Golubkina, N. A., Kharchenko, V. A., Moldovan, A. I., Koshevarov, A. A., Zamana, S., Nadezhkin, S., Soldatenko, A., Sekara, A., Tallarita, A., & Caruso, G. (2020). Yield, Growth, Quality, Biochemical Characteristics and Elemental

Composition of Plant Parts of Celery Leafy, Stalk and Root Types Grown in the Northern Hemisphere. *Plants*, *9*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/plants9040484

77. Gopalakrishnan, T. R. (2007). *Vegetable Crops*. New India Publishing Agency.
78. Gorzelany, J., Kuźniar, P., Matłok, N., & Zaguła, G. (2013). Analysis of the selected mechanical properties of the root parsley. *Teka Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, *13*(1), 53–56.
79. Grogan, S. P., & Mount, C. A. (2025). Ultrasound Physics and Instrumentation. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570593/
80. Grubačić, M. (2012). *Osnovi tehnologije voća i povrća*. Tehnološki fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci.
81. Gruszecki, R., & Walasek-Janusz, M. (2022). Essential Oil Diversity of Turnip-Rooted Parsley Cultivars. *Agronomy*, *12*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/agronomy12081949
82. Guo, M. (2009). Chapter 6—VITAMINS AND MINERALS AS FUNCTIONAL INGREDIENTS. In M. Guo (Ed.), *Functional Foods* (pp. 197–236). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1533/9781845696078.197
83. Gupta, A., Mahajan, S., & Sharma, R. (2015). Evaluation of antimicrobial activity of *Curcuma longa* rhizome extract against *Staphylococcus aureus*. *Biotechnology Reports*, *6*, 51–55. https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.02.001
84. Haiyee, Z. A., Shah, S. H. M., Ismail, K., Hashim, N., & Ismail, W. I. W. (2016). Quality Parameters of Curcuma Longa L. Extracts by Supercritical Fluid Extraction (SFE) and Ultrasonic Assisted Extraction (UAE). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, *20*(3), 626–632.
85. Harbi, O. A.-, & Hussain, S. M. (2015). Inhibition of alpha-glucosidase enzyme by Parsley crispum L. leaf extract: Possible role in controlling postprandial hyperglycemia. *Journal of Pharmaceutical and BioSciences*, *3*(3), 30–35.
86. Hashim, N. S., & Bakar, L. M. (2024). ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF TURMERIC (Curcuma longa) EXTRACT AGAINST Staphylococcus aureus AND Escherichia coli. *Journal of Academia*, *12*(2), Article 2.
87. Hassanzadeh, H., Rahimabadi, E. Z., & Babakhani, A. (2023). Effects of sun/open-air drying and oven-drying on chemical composition and functional properties of dried Ulva intestinalis. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *21*(5), 1265–1271. https://doi.org/10.22124/cjes.2022.5980
88. Hawash, M., Jaradat, N., Salhi, N. A., Shatreet, B., Asbah, A. A., & Hawash, Y. H. (2024). Assessing the therapeutic potential and safety of traditional anti-obesity herbal blends in Palestine. *Scientific Reports*, *14*(1), 1919. https://doi.org/10.1038/s41598-024-52172-7
89. Herrero, M., Plaza, M., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2012). Extraction Techniques for the Determination of Phenolic Compounds in Food. In J. Pawliszyn (Ed.), *Comprehensive Sampling and Sample Preparation* (pp. 159–180). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00132-0

90. Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its' Effects on Human Health. *Foods*, *6*(10), 92. https://doi.org/10.3390/foods6100092
91. Hirun, S., Utama-Ang, N., & Roach, P. D. (2014). Turmeric (Curcuma longa L.) drying: An optimization approach using microwave-vacuum drying. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 2127–2133. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0709-9
92. Hossain, M. B., Ahmed, L., Martin-Diana, A. B., Brunton, N. P., & Barry-Ryan, C. (2023). Individual and Combined Antioxidant Activity of Spices and Spice Phenolics. *Antioxidants*, *12*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/antiox12020308
93. Huang, Y., Zhang, J., Tian, Y., Kong, Y., Liu, Y., Luo, P., & Zhang, Z. (2024). Influence of different drying methods on the browning, phytochemical components and antioxidant capacity of *Choerospondias axillaris* fruits. *LWT*, *205*, 116511. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116511
94. Ibáñez, M. D., & Blázquez, M. A. (2021). Curcuma longa L. Rhizome Essential Oil from Extraction to Its Agri-Food Applications. A Review. *Plants*, *10*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/plants10010044
95. Ikpeama, A., Onwuka, G. I., & Nwankwo, C. (2014). Nutritional Composition of Turmeric and Its Antimicrobial Properties. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, *5*(10), 1085–1089.
96. Ilyasov, I. R., Beloborodov, V. L., Selivanova, I. A., & Terekhov, R. P. (2020). ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(3), 1131. https://doi.org/10.3390/ijms21031131
97. *ISO 4121. Sensory analysis—Guidelines for the use of quantitative response scales*. (2003). ISO: Geneva, Switzerland.
98. *ISO 6658. Sensory analysis—Methodology—General guidance*. (2017). ISO: Geneva, Switzerland.
99. *ISO 8586. Sensory analysis—General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors.* (2012). ISO: Geneva, Switzerland.
100. *ISO 8589. Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms*. (2007). ISO: Geneva, Switzerland.
101. *ISO 13299. Sensory analysis—Methodology—General guidance for establishing a sensory profile*. (2016). ISO: Geneva, Switzerland.
102. Iswantini, D., Ramdhani, T. H., & Darusman, L. K. (2012). In vitro inhibition of celery (Apium graveolens L.) extract on the activity of xanthine oxidase and determination of its active compound. *Indonesian Journal of Chemistry*, *12*(3), 247–254. https://doi.org/10.22146/ijc.21338
103. Jain, V., & Gupta, K. (2005). Food and Nutritional Analysis | Overview. In P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)* (pp. 202–211). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00175-8

104. Jeleń, H. (2012). Specificity of Food Odorants. In H. Jeleń (Ed.), *Food Flavors: Chemical, Sensory and Technological Properties*. CRC Press.
105. Jomova, K., Makova, M., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., Kuca, K., Rhodes, C. J., & Valko, M. (2022). Essential metals in health and disease. *Chemico-Biological Interactions*, *367*, 110173. https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.110173
106. Kaiser, A., Hartmann, K. I., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2013). Evaluation of the effects of thermal treatments on color, polyphenol stability, enzyme activities and antioxidant capacities of innovative pasty celeriac (Apium graveolens L. var. Rapaceum (Mill.) DC.) products. *European Food Research and Technology*, *237*(3), 353–365. https://doi.org/10.1007/s00217-013-1998-6
107. Kaiser, H. F., & Rice, J. (1974). Little Jiffy, Mark Iv. *Educational and Psychological Measurement*, *34*(1), 111–117. https://doi.org/10.1177/001316447403400115
108. Karabacak, A. Ö., Suna, S., Tamer, C. E., & Çopur, Ö. U. (2018). Effects of oven, microwave and vacuum drying on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of celery slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *10*(2), 193–205. https://doi.org/10.3920/QAS2017.1197
109. Khatun, M., Nur, M. A., Biswas, S., Khan, M., & Amin, M. Z. (2021). Assessment of the anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-bacterial activities of different types of turmeric (*Curcuma longa*) powder in Bangladesh. *Journal of Agriculture and Food Research*, *6*, 100201. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100201
110. Kian-Pour, N., Akdeniz, E., & Toker, O. S. (2022). Influence of coating-blanching in starch solutions, on the drying kinetics, transport properties, quality parameters, and microstructure of celery root chips. *LWT*, *160*, 113262. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113262
111. Knez, E., Kadac-Czapska, K., Dmochowska-Ślęzak, K., & Grembecka, M. (2022). Root Vegetables-Composition, Health Effects, and Contaminants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(23), 15531. https://doi.org/10.3390/ijerph192315531
112. Kocaman, B., Acun, S., Seyrekoğlu, F., & Ay, E. B. (2025). Impact of drying techniques on strawberry powder characteristics. *Journal of Food Measurement and Characterization*. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03430-3
113. Komonsing, N., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., Müller, J., & Mahayothee, B. (2022). Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice. *Journal of Food Engineering*, *317*, 110695. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110695
114. Kooti, W., & Daraei, N. (2017). A Review of the Antioxidant Activity of Celery (Apium graveolens L). *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, *22*(4), 1029–1034. https://doi.org/10.1177/2156587217717415

115. Koprivica, G. (2008). *Aktivnost vode i konzervisanje namirnica | Tehnologija hrane*. https://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/aktivnost-vode-i-konzervisanje-namirnica
116. Kręcisz, M., Klemens, M., Latański, A., & Stępień, B. (2024). The Use of Beetroot Juice as an Impregnating Solution to Change Volatile Compounds, Physical Properties and Influence the Kinetics of the Celery Drying Process. *Molecules*, *29*(17), Article 17. https://doi.org/10.3390/molecules29174050
117. Kręcisz, M., Kolniak-Ostek, J., Łyczko, J., & Stępień, B. (2023). Evaluation of bioactive compounds, volatile compounds, drying process kinetics and selected physical properties of vacuum impregnation celery dried by different methods. *Food Chemistry*, *413*, 135490. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135490
118. Kulig, D., Matysiak, M., Baldovská, S., Å tefániková, J., Maruniaková, N., Mňahončáková, E., Árvay, J., Galbavý, D., & Kolesárová, A. (2019). Screening of polyphenolic compounds from traditional medicinal herbs. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *9*(Special issue), Article Special issue. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.9.special.487-491
119. Kwak, S. A., Lee, J. J., & Joo, N. (2025). Celeriac: A comprehensive exploration of nutritional value, sustainability, and global market trends through food upcycling. *CyTA - Journal of Food*, *23*(1), 2502537. https://doi.org/10.1080/19476337.2025.2502537
120. Lanzes, T., Thakur, R., & Choskit, T. (2023). Photoperiodism and Vernalization. In S. M. Suraj, T. M. Akhilraj, O. Nivedita, T. Shivani, C. Karthik, & Babita (Eds.), *Advances And Trends In Agriculture Sciences* (pp. 111–123). Kripa-Drishti Publications.
121. Laocharoen, S., Phetcharat, P., Chareekhot, K., & Nuanpeng, S. (2025). Applying optimized curcumin extraction techniques in the development of novel curcumin-infused products. *Applied Food Research*, *5*(1), 100992. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100992
122. Latinović, S., Vasilišin, L., Pezo, L., Lakić-Karalić, N., Cvetković, D., Ranitović, A., Brunet, S., Cvanić, T., & Vulić, J. (2024). Impact of Drying Methods on Phenolic Composition and Bioactivity of Celery, Parsley, and Turmeric—Chemometric Approach. *Foods*, *13*(21), Article 21. https://doi.org/10.3390/foods13213355
123. Lawless, H. T., & Heymann, H. (1999). Discrimination Testing. In H. T. Lawless & H. Heymann (Eds.), *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (pp. 116–139). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7843-7_4
124. Lawless, L. J. R., Hottenstein, A., & Ellingsworth, J. (2012). The Mccormick Spice Wheel: A Systematic and Visual Approach to Sensory Lexicon Development. *Journal of Sensory Studies*, *27*(1), 37–47. https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2011.00365.x
125. Lekshmi, P. C., Arimboor, R., Nisha, V. M., Menon, A. N., & Raghu, K. G. (2014). In vitro antidiabetic and inhibitory potential of turmeric (Curcuma longa L) rhizome against cellular and LDL oxidation and angiotensin converting enzyme.

Journal of Food Science and Technology, *51*(12), 3910–3917. https://doi.org/10.1007/s13197-013-0953-7

126. Li, X.-Z., & Nikaido, H. (2004). Efflux-mediated drug resistance in bacteria. *Drugs*, *64*(2), 159–204. https://doi.org/10.2165/00003495-200464020-00004
127. Liang, W.-H., Chang, T.-W., & Charng, Y.-C. (2018). Effects of drying methods on contents of bioactive compounds and antioxidant activities of Angelica dahurica. *Food Science and Biotechnology*, *27*(4), 1085–1092. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0359-4
128. Liapis, A. I., & Bruttini, R. (2006). Freeze Drying. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying* (3rd Edition, pp. 276–303). CRC Press.
129. Lima, M. S. de, Resende, O., Plácido, G. R., Silva, J. A. G. e, Célia, J. A., Caliari, M., Oliveira, D. E. C. de, Correia, J. S., & Silva, M. A. P. da. (2022). Effects of drying temperature on the bioactive and technological properties of turmeric (*Curcuma longa* L.) flour. *Food Science and Technology*, *42*, e76122. https://doi.org/10.1590/fst.76122
130. Lisiewska, Z., Kmiecik, W., & Gebczynnski, P. (2006). Effects on Mineral Content of Different Methods of Preparing Frozen Root Vegetables. *Food Science and Technology International*, *12*(6), 497–503. https://doi.org/10.1177/1082013206073273
131. Liyana-Pathirana, C. M., & Shahidi, F. (2005). Antioxidant activity of commercial soft and hard wheat (Triticum aestivum L.) as affected by gastric pH conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(7), 2433–2440. https://doi.org/10.1021/jf049320i
132. Llano, S. M., Gómez, A. M., & Duarte-Correa, Y. (2022). Effect of Drying Methods and Processing Conditions on the Quality of Curcuma longa Powder. *Processes*, *10*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/pr10040702
133. Long, D. Q., Doan, T. B. N., Ton, N. M. N., Tran, T. T. T., & Le, V. V. M. (2024). Quality of durum wheat pasta fortified with different ratios of turmeric residue powder. *Journal of Agriculture and Food Research*, *16*, 101220. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101220
134. López-Vidaña, E. C., Pilatowsky Figueroa, I., Cortés, F. B., Rojano, B. A., & Navarro Ocaña, A. (2017). Effect of temperature on antioxidant capacity during drying process of mortiño (Vaccinium meridionale Swartz). *International Journal of Food Properties*, *20*(2), 294–305. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1155601
135. Lutz, M., Hernández, J., & Henríquez, C. (2015). Lutz M, Hernandez J, Henríquez C. Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. *CyTA - Journal of Food*, *13*(4), 541–547. https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1012743
136. Madhusankha, G., Thilakarathan, R. C. N., Liyanage, T., & Navaratne, S. B. (2019). Compositional analysis of Turmeric types cultivated in Sri Lanka and India. *International Journal of Herbal Medicine*, *7*(1), 35–38.

137. Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., & Piga, A. (2009). Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*, *228*(3), 441–448. https://doi.org/10.1007/s00217-008-0951-6
138. Majumder, P., Sinha, A., Gupta, R., & Sablani, S. S. (2021). Drying of Selected Major Spices: Characteristics and Influencing Parameters, Drying Technologies, Quality Retention and Energy Saving, and Mathematical Models. *Food and Bioprocess Technology*, *14*(6), 1028–1054. https://doi.org/10.1007/s11947-021-02646-7
139. Malhotra, S. K. (2012). 12—Celery. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)* (pp. 249–267). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1533/9780857095688.249
140. Mane, R. P., Kshirsagar, R. B., Sawate, A. R., Patil, B. M., & Kale, R. G. (2018). Studies on evaluation of physicochemical and nutritional properties of fresh turmeric rhizome. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(2), 2895–2897.
141. Marić, L., Malešić, E., Jurinjak Tušek, A., Benković, M., Valinger, D., Jurina, T., & Gajdoš Kljusurić, J. (2020). Effects of drying on physical and chemical properties of root vegetables: Artificial neural network modelling. *Food and Bioproducts Processing*, *119*, 148–160. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.11.002
142. Mehri, A. (2020). Trace Elements in Human Nutrition (II) – An Update. *International Journal of Preventive Medicine*, *11*, 2. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_48_19
143. Meng, Q., Fan, H., Li, Y., & Zhang, L. (2018). Effect of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of Dendrobium officinale. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9611-5
144. Miao, J., Liu, J., Gao, X., Lu, F., & Yang, X. (2022). Effects of different drying methods on chemical compositions, antioxidant activity and anti-*α*-glucosidase activity of *Coreopsis tinctoria* flower tea. *Heliyon*, *8*(11), e11784. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11784
145. Milić, A., Adamović, B., Nastić, N., Tepić Horecki, A., Pezo, L., Šumić, Z., Pavlić, B., Živanov, M., Pavković, N., & Vojnović, Đ. (2024). Cluster and Principal Component Analyses of the Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Celery (Apium graveolens L.) Under Different Fertilization Schemes. *Foods*, *13*(22), Article 22. https://doi.org/10.3390/foods13223652
146. Mishra, K., Ojha, H., & Chaudhury, N. K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, *130*(4), 1036–1043. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127
147. Mititelu, M., Lupuliasa, D., Neacșu, S. M., Olteanu, G., Busnatu, Ștefan S., Mihai, A., Popovici, V., Măru, N., Boroghină, S. C., Mihai, S., Ioniță-Mîndrican, C.-B., & Scafa-Udriște, A. (2024). Polyunsaturated Fatty Acids and Human Health: A Key to Modern Nutritional Balance in Association with Polyphenolic

Compounds from Food Sources. *Foods (Basel, Switzerland)*, *14*(1), 46. https://doi.org/10.3390/foods14010046

148. Mitrović, J., Nikolić, N., Karabegović, I., Todorović, Z., Lazić, M., & Stojanović, G. (2018). The Comparative Study on the Composition of Acylglycerols and Fatty Acids in Celery, Parsnip and Black Radish Roots. *Advanced Technologies*, *7*(1), 28–34.
149. Mohd Zainol, M. K., Abdul-Hamid, A., Abu Bakar, F., & Pak Dek, S. (2009). Effect of different drying methods on the degradation of selected flavonoids in Centella asiatica. *International Food Research Journal*, *16*, 531–537.
150. Molole, G. J., Gure, A., & Abdissa, N. (2022). Determination of total phenolic content and antioxidant activity of Commiphora mollis (Oliv.) Engl. Resin. *BMC Chemistry*, *16*(1), 48. https://doi.org/10.1186/s13065-022-00841-x
151. Moulick, S. P., Jahan, F., Islam, Md. B., Bashera, M. A., Hasan, Md. S., Islam, Md. J., Ahmed, S., Karmakar, D., Ahmed, F., Saha, T., Dey, S. S., Boby, F., Saha, M., Saha, B. K., & Bhuiyan, M. N. H. (2023). Nutritional characteristics and antiradical activity of turmeric (*Curcuma longa* L.), beetroot (*Beta vulgaris* L.), and carrot (*Daucus carota* L.) grown in Bangladesh. *Heliyon*, *9*(11), e21495. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21495
152. Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Domínguez, J. M., Sineiro, J., Domínguez, H., José Núñez, M., & Parajó, J. C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, *72*(2), 145–171. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5
153. Muflihah, Y. M., Gollavelli, G., & Ling, Y.-C. (2021). Correlation Study of Antioxidant Activity with Phenolic and Flavonoid Compounds in 12 Indonesian Indigenous Herbs. *Antioxidants*, *10*(10), Article 10. https://doi.org/10.3390/antiox10101530
154. Murray, J. M., Delahunty, C. M., & Baxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: Past, present and future. *Food Research International*, *34*(6), 461–471. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00070-9
155. Mushtaq, Z., Sadeer, N. B., Hussain, M., Mahwish, Alsagaby, S. A., Imran, M., Mumtaz, T., Umar, M., Tauseef, A., Al Abdulmonem, W., Tufail, T., Al Jbawi, E., & Mahomoodally, M. F. (2023). Therapeutical properties of apigenin: A review on the experimental evidence and basic mechanisms. *International Journal of Food Properties*, *26*(1), 1914–1939. https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2236329
156. Nakbanpote, W., Ruttanakorn, M., Sukadeetad, K., Sakkayawong, N., & Damrianant, S. (2019). Effects of drying and extraction methods on phenolic compounds and in vitro assays of Eclipta prostrata Linn leaf extracts. *Science Asia*, *45*, 127–137. https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874...127
157. Namal Senanayake, S. P. J. (2013). Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications – A review. *Journal of Functional Foods*, *5*(4), 1529–1541. https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.08.011
158. Nićetin, M., Pezo, L., Pergal, M., Lončar, B., Filipović, V., Knežević, V., Demir, H., Filipović, J., & Manojlović, D. (2022). Celery Root Phenols Content,

Antioxidant Capacities and Their Correlations after Osmotic Dehydration in Molasses. *Foods*, *11*(13), Article 13. https://doi.org/10.3390/foods11131945

159. Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR*, *67*(4), 593–656. https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.593-656.2003
160. Nikolić, N., Cvetković, D., & Todorović, Z. (2011). A Characterization of content, composition and antioxidant capacity of phenolic compounds in celery roots. *Italian Journal of Food Science*, *23*(2), 214–219.
161. Ninčević Grassino, A., Karlović, S., Dujmić, F., Rimac Brnčić, S., Badanjak Sabolović, M., & Brnčić, M. (2025). Effects of Hot Air, Vacuum, and Conductive Drying on the Fatty Acid Profile of Cucurbita maxima Pulp and Its Processing By-Products. *Foods*, *14*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/foods14010057
162. Nora, C. D., Müller, C. D.-R., De Bona, G. S., Rios, A. D. O., Hertz, P. F., Jablonski, A., De Jong, E. V., & Flôres, S. H. (2014). Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (Psidium cattleyanum Sabine) and guabiju (Myrcianthes pungens). *Journal of Food Composition and Analysis*, *34*(1), 18–25. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.01.006
163. Nortjie, E., Basitere, M., Moyo, D., & Nyamukamba, P. (2022). Extraction Methods, Quantitative and Qualitative Phytochemical Screening of Medicinal Plants for Antimicrobial Textiles: A Review. *Plants*, *11*(15), Article 15. https://doi.org/10.3390/plants11152011
164. Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods*, *9*(10), Article 10. https://doi.org/10.3390/foods9101488
165. Nurhaslina, C. R., Andi Bacho, S., & Mustapa, A. N. (2022). Review on drying methods for herbal plants. *Materials Today: Proceedings*, *63*, S122–S139. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.052
166. Nurkhoeriyati, T., Arefi, A., Kulig, B., Sturm, B., & Hensel, O. (2023). Non-destructive monitoring of quality attributes kinetics during the drying process: A case study of celeriac slices and the model generalisation in selected commodities. *Food Chemistry*, *424*, 136379. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136379
167. Nurkhoeriyati, T., Kulig, B., Sturm, B., & Hensel, O. (2021). The Effect of Pre-Drying Treatment and Drying Conditions on Quality and Energy Consumption of Hot Air-Dried Celeriac Slices: Optimisation. *Foods*, *10*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/foods10081758
168. Odo, E. O., Ikwuegbu, J. A., Obeagu, E. I., Chibueze, S. A., & Ochiaka, R. E. (2023). Analysis of the antibacterial effects of turmeric on particular bacteria. *Medicine*, *102*(48), e36492. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000036492
169. Oklo, A. D., Adah, C. A., Abah, C. N., Ode, P. I., Praise, A. J., & Ede, C. O. (2023). Physicochemical analysis and anti-bacterial activity of rhizome of tumeric

(Curcuma longa L.) vegetable plants. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *18*(1), 1169–1181. https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.18.1.0718

170. Okoye, O., Nwobi, A. C., Chukwuka, O. F., Agbo, C. E., & Ezeja, E. P. (2023). Comparative Analysis of Antioxidant Vitamins, Minerals and Bioactive Compounds of Black Pepper (Piper guineense) Seed, Turmeric (Curcuma longa) and Ginger (Zingiber officinale) Rhizomes Spices. *Journal of Home Economics Research*, *30*(2), Article 2.
171. Olayinka, I. O. (2023). Proximate, mineral composition and phytochemical analyses of turmeric (Curcuma longa) powder. *Nigerian Journal of Animal Production*, 874–878.
172. Oluwafemi, A. G., Ajayi, O. B., & Oseni, O. A. (2022). Phytochemical Screening, Nutritional Composition, and Antioxidant Activities of Turmeric (Curcuma longa) Found in Ado-ekiti, Nigeria. *Journal of Applied Life Sciences International*, *25*(1), 1–8. https://doi.org/10.9734/jalsi/2022/v25i130278
173. Otto, M. (1999). *Chemometrics: Statistics and computer application in analytical chemistry*. Wiley-VCH.
174. Pal, K., Chowdhury, S., Dutta, S. K., Chakraborty, S., Chakraborty, M., Pandit, G. K., Dutta, S., Paul, P. K., Choudhury, A., Majumder, B., Sahana, N., & Mandal, S. (2020). Analysis of rhizome colour content, bioactive compound profiling and *ex-situ* conservation of turmeric genotypes (*Curcuma longa* L.) from sub-Himalayan terai region of India. *Industrial Crops and Products*, *150*, 112401. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112401
175. Parmar, R. G., Dabhi, M. N., & Rathod, P. J. (2023). Effect of drying temperature on proximate components of turmeric rhizome in tray dryer. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, *3*(4), 174–181. https://doi.org/10.53499/sfjeasv3n4-002
176. Patted, P. G., Masareddy, R. S., Patil, A. S., Kanabargi, R. R., & Bhat, C. T. (2024). Omega-3 fatty acids: A comprehensive scientific review of their sources, functions and health benefits. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, *10*(1), 94. https://doi.org/10.1186/s43094-024-00667-5
177. Paul, B. K., Munshi, M. M. U., Ahmed, M. N., Saha, G. C., & Roy, S. K. (2011). The Fatty Acid Composition and Properties of Oil Extracted from Fresh Rhizomes of Turmeric (*Curcuma longa* Linn.) Cultivars of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, *46*(1), Article 1. https://doi.org/10.3329/bjsir.v46i1.8116
178. Pavlić, B., Pezo, L., Marić, B., Peić Tukuljac, L., Zeković, Z., Bodroža-Solarov, M., & Teslić, N. (2019). Supercritical fluid extraction of raspberry seed oil: Experiments and modelling. *The Journal of Supercritical Fluids*, *157*, 104687. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104687
179. Pękal, A., & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay. *Food Analytical Methods*, *7*(9), 1776–1782. https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x

180. Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *71*(46), 17543–17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022
181. Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Finimundy, T. C., Polyzos, N., Pinela, J., Ivanov, M., Soković, M., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2022). The Bioactivities and Chemical Profile of Turnip-Rooted Parsley Germplasm. *Horticulturae*, *8*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/horticulturae8070639
182. Plećić, A., Gnjatović, M., & Jovanović, A. (2024). Total Phenolic Content and Radical Scavenging Potential of Celery Root and Celeriac Stalk and Leaf Extracts. *Lekovite Sirovine*, *44*(1), Article 1. https://doi.org/10.61652/leksir2444004P
183. Pop, M. D. (2023). Sensory Evaluation Techniques of Food. *Annals of "Valahia" University of Târgovişte. Agriculture*, *15*(2), 58–62. https://doi.org/10.2478/agr-2023-0019
184. Popova, M., Stoyanova, A., Valyovska-Popova, N., Bankova, V., & Peev, D. (2014). A new coumarin and total phenolic and flavonoids content of Bulgarian celeriac. *Bulgarian Chemical Communications*, *46*(Special Issue A), 88–93. https://doi.org/2014
185. Popović, M., Gašić, O., Simmonds, M., & Malenčić, Đ. (1997). Antimikrobna aktivnost sekundarnih biomolekula nekih vrsta familije Asteraceae. *Arhiv Za Farmaciju*, *5*, 630–631.
186. Prakash, O., Kumar, A., Tiwari, S., & Bajpai, P. (2024). The versatility of apigenin: Especially as a chemopreventive agent for cancer. *Journal of Holistic Integrative Pharmacy*, *5*(4), 249–256. https://doi.org/10.1016/j.jhip.2024.10.001
187. Priecina, L., & Karklina, D. (2014). Natural Antioxidant Changes in Fresh and Dried Spices and Vegetables. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *Open Science Index 89*, *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, *8*(5), 492–496. https://doi.org/10.5281/zenodo.1092796
188. Priecina, L., Karklina, D., & Kince, T. (2018). The impact of steam-blanching and dehydration on phenolic, organic acid composition, and total carotenoids in celery roots. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *49*, 192–201. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.008
189. Priyadarsini, D., Rayaguru, K., Misra, S., & Dash, S. K. (2022). Effect of drying techniques on physicochemical properties of oyster mushroom (Pleurotus sajor-caju). *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(7), e16598. https://doi.org/10.1111/jfpp.16598
190. Punvichai, T., Pipakdee, J., Chaitham, H., Kritsanapuntu, S., Chotimarkorn, C., & Detarun, P. (2024). Factors affecting the quality of supercritical carbon dioxide extract from *Curcuma longa Linn* in Thailand: Antioxidant and lipid composition. *Food Chemistry Advances*, *4*, 100737. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100737

191. Quirós-Fallas, M. I., Vargas-Huertas, F., Quesada-Mora, S., Azofeifa-Cordero, G., Wilhelm-Romero, K., Vásquez-Castro, F., Alvarado-Corella, D., Sánchez-Kopper, A., & Navarro-Hoyos, M. (2022). Polyphenolic HRMS Characterization, Contents and Antioxidant Activity of Curcuma longa Rhizomes from Costa Rica. *Antioxidants*, *11*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/antiox11040620
192. Rachmawati, H., Soraya, I. S., Kurniati, N. F., & Rahma, A. (2016). In Vitro Study on Antihypertensive and Antihypercholesterolemic Effects of a Curcumin Nanoemulsion. *Scientia Pharmaceutica*, *84*(1), 131–140. https://doi.org/10.3797/scipharm.ISP.2015.05
193. Radovich, T. J. K. (2018). Biology and Classification of Vegetables. In *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (pp. 1–23). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch1
194. Rahman, M. S., & Perera, C. O. (2007). Drying and Food Preservation. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation* (2nd Edition, pp. 404–432). CRC Press.
195. Rajkumar, G., Shanmugam, S., Galvâo, M. de S., Dutra Sandes, R. D., Leite Neta, M. T. S., Narain, N., & Mujumdar, A. S. (2017). Comparative evaluation of physical properties and volatiles profile of cabbages subjected to hot air and freeze drying. *LWT*, *80*, 501–509. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.020
196. Ranilla, L. G., Kwon, Y.-I., Apostolidis, E., & Shetty, K. (2010). Phenolic compounds, antioxidant activity and *in vitro* inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of commonly used medicinal plants, herbs and spices in Latin America. *Bioresource Technology*, *101*(12), 4676–4689. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.093
197. Ranjbarzadeh, R., Caputo, A., Tirkolaee, E. B., Jafarzadeh Ghoushchi, S., & Bendechache, M. (2023). Brain tumor segmentation of MRI images: A comprehensive review on the application of artificial intelligence tools. *Computers in Biology and Medicine*, *152*, 106405. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.106405
198. Ratseewo, J., Chumroenphat, T., Li, H., & Siriamornpun, S. (2025). Changes in chemical composition, volatile compound, and bioactive compounds retention in shallots (*Allium ascalonicum* L.) under different drying methods. *Food Chemistry: X*, *27*, 102419. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102419
199. Ray, A., Mohanty, S., Jena, S., Sahoo, A., Acharya, L., Panda, P. C., Sial, P., Duraisamy, P., & Nayak, S. (2022). Drying methods affects physicochemical characteristics, essential oil yield and volatile composition of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *26*, 100357. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100357
200. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, *26*(9–10), 1231–1237. https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3

201. Roney, M., Huq, A. K. M. M., Rullah, K., Zamri, N. B., & Mohd Aluwi, M. F. F. (2024). Curcumin, a bioactive compound of Turmeric (Curcuma longa) and its derivatives as α-amylase and α-glucosidase inhibitors. *Cell Biochemistry and Biophysics*. https://doi.org/10.1007/s12013-024-01477-5
202. Roshanak, S., Rahimmalek, M., & Goli, S. A. H. (2016). Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (Camellia sinensis or C. assamica) leaves. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(1), 721–729. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2030-x
203. Rozenberg, J. M., Kamynina, M., Sorokin, M., Zolotovskaia, M., Koroleva, E., Kremenchutckaya, K., Gudkov, A., Buzdin, A., & Borisov, N. (2022). The Role of the Metabolism of Zinc and Manganese Ions in Human Cancerogenesis. *Biomedicines*, *10*(5), 1072. https://doi.org/10.3390/biomedicines10051072
204. Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. *Foods*, *10*(3), 582. https://doi.org/10.3390/foods10030582
205. Safian, S., Majid, H., Swift, S., & Silva, F. V. M. (2022). Antimicrobial Properties against Human Pathogens of Medicinal Plants from New Zealand. *Applied Microbiology*, *2*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/applmicrobiol2020027
206. Saha, G., Sharangi, A. B., Upadhyay, T. K., Al-Keridis, L. A., Alshammari, N., Alabdallah, N. M., & Saeed, M. (2022). Dynamics of Drying Turmeric Rhizomes (Curcuma longa L.) with Respect to Its Moisture, Color, Texture and Quality. *Agronomy*, *12*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/agronomy12061420
207. Salamatullah, A. M., Özcan, M. M., Alkaltham, M. S., Uslu, N., & Hayat, K. (2021). Influence of boiling on total phenol, antioxidant activity, and phenolic compounds of celery (Apium graveolens L) root. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(2), e15171. https://doi.org/10.1111/jfpp.15171
208. Salehi, B., Venditti, A., Sharifi-Rad, M., Kręgiel, D., Sharifi-Rad, J., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Souto, E. B., Novellino, E., Antolak, H., Azzini, E., Setzer, W. N., & Martins, N. (2019). The Therapeutic Potential of Apigenin. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/ijms20061305
209. Salsinha, A. S., Socodato, R., Relvas, J. B., & Pintado, M. (2023). Chapter 3—The pro- and antiinflammatory activity of fatty acids. In M. Pintado, M. Machado, A. M. Gomes, A. S. Salsinha, & L. M. Rodríguez-Alcalá (Eds.), *Bioactive Lipids* (pp. 51–75). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824043-4.00002-6
210. Samson, S. L., & Garber, A. J. (2016). Prevention of type 2 Diabetes Mellitus: Potential of pharmacological agents. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, *30*(3), 357–371. https://doi.org/10.1016/j.beem.2016.06.005

211. Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, *2*(1), 6. https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5
212. Sarkar, D., Christopher, A., & Shetty, K. (2022). Phenolic Bioactives From Plant-Based Foods for Glycemic Control. *Frontiers in Endocrinology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.727503
213. Sasidharan, N. K., Sreekala, S. R., Jacob, J., & Nambisan, B. (2014). In Vitro Synergistic Effect of Curcumin in Combination with Third Generation Cephalosporins against Bacteria Associated with Infectious Diarrhea. *BioMed Research International*, *2014*(1), 561456. https://doi.org/10.1155/2014/561456
214. Savas, E. (2022). The Modelling of Convective Drying Variables' Effects on the Functional Properties of Sliced Sweet Potatoes. *Foods*, *11*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/foods11050741
215. Schweiggert, U., Carle, R., & Schieber, A. (2007). Conventional and alternative processes for spice production – a review. *Trends in Food Science & Technology*, *18*(5), 260–268. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.005
216. Sellami, I. H., Bettaieb, I., Bourgou, S., Dahmani, R., Limam, F., & Marzouk, B. (2012). Essential oil and aroma composition of leaves, stalks and roots of celery (Apium graveolens var. Dulce) from Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*, *24*(6), 513–521. https://doi.org/10.1080/10412905.2012.728093
217. Sethi, S., & Rathod, V. K. (2025). Recent advances in ultrasound-assisted extraction of natural products using novel solvents: A mini-review. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *48*, 101132. https://doi.org/10.1016/j.coche.2025.101132
218. Shams, R., Singh, J., Dash, K. K., & Dar, A. H. (2022). Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. *Applied Food Research*, *2*(1), 100084. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100084
219. Sharma, S., Dhalsamant, K., Tripathy, P. P., & Manepally, R. K. (2021). Quality analysis and drying characteristics of turmeric (*Curcuma longa* L.) dried by hot air and direct solar dryers. *LWT*, *138*, 110687. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110687
220. Shebis, Y., Iluz, D., Kinel-Tahan, Y., Dubinsky, Z., & Yehoshua, Y. (2013). Natural Antioxidants: Function and Sources. *Food and Nutrition Sciences*, *4*(6), Article 6. https://doi.org/10.4236/fns.2013.46083
221. Shelef, L. A., Naglik, O. A., & Bogen, D. W. (1980). Sensitivity of Some Common Food-Borne Bacteria to the Spices Sage, Rosemary, and Allspice. *Journal of Food Science*, *45*(4), 1042–1044. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb07508.x
222. Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *383*, 132531. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531
223. Shi, L., Zhao, W., Yang, Z., Subbiah, V., & Suleria, H. A. R. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant

activities. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(54), 81112–81129. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23337-6

224. Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M. S., & Hairuddin, M. R. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, *12*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/ijms12074678
225. Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, *150*, 111932. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932
226. Shukla, R., Pandey, V., Vadnere, G. P., & Lodhi, S. (2019). Chapter 18—Role of Flavonoids in Management of Inflammatory Disorders. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related Inflammatory Diseases (Second Edition)* (pp. 293–322). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813820-5.00018-0
227. Siddiqui, S. A., Ucak ,İlknur, Jain ,Surangna, Elsheikh ,Wadah, Ali Redha ,Ali, Kurt ,Abdullah, & and Toker, O. S. (2024). Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates—A comprehensive review. *Drying Technology*, *42*(4), 592–611. https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2303580
228. Singh, G., Arora, S., & Kumar, S. (2010). Effect of mechanical drying air conditions on quality of turmeric powder. *Journal of Food Science and Technology*, *47*(3), 347–350. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0057-6
229. Singh, K., Srichairatanakool, S., Chewonarin, T., Prommaban, A., Samakradhamrongthai, R. S., Brennan, M. A., Brennan, C. S., & Utama-ang, N. (2022). Impact of Green Extraction on Curcuminoid Content, Antioxidant Activities and Anti-Cancer Efficiency (In Vitro) from Turmeric Rhizomes (Curcuma longa L.). *Foods*, *11*(22), Article 22. https://doi.org/10.3390/foods11223633
230. Singh, N., Gupta, S., Rathore, V., & Rathore, V. (2017). Comparative Antimicrobial Study of Ethanolic Extract of Leaf and Rhizome of Curcuma longa Linn. *Pharmacognosy Journal*, *9*(2), 208–212. https://doi.org/10.5530/pj.2017.2.35
231. Singh, P., & Prasad, S. (2023). A review on iron, zinc and calcium biological significance and factors affecting their absorption and bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105529. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105529
232. Skåra, T., Løvdal ,Trond, Skipnes ,Dagbjørn, Nwabisa Mehlomakulu ,Ngwekazi, Mapengo ,Clarity Ropafadzo, Otema Baah ,Rose, & and Emmambux, M. N. (2022). Drying of vegetable and root crops by solar, infrared, microwave, and radio frequency as energy efficient methods: A review. *Food Reviews International*, *39*(9), 7197–7217. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2148688

233. Skendi, A., Bouloumpasi, E., Chatzopoulou, P., Biliaderis, C. G., & Irakli, M. (2023). Comparison of drying methods for the retention of phenolic antioxidants in post-distillation solid residues of aromatic plants. *LWT*, *189*, 115463. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115463
234. Slaček, G., Kotnik, P., Osmić, A., Postružnik, V., Knez, Ž., Finšgar, M., & Knez Marevci, M. (2023). The Extraction Process, Separation, and Identification of Curcuminoids from Turmeric Curcuma longa. *Foods*, *12*(21), Article 21. https://doi.org/10.3390/foods12214000
235. Šovljanski, O., Pezo, L., Tomić, A., Ranitović, A., Cvetković, D., & Markov, S. (2021). Contribution of bacterial cells as nucleation centers in microbiologically induced CaCO3 precipitation—A mathematical modeling approach. *Journal of Basic Microbiology*, *61*(9), 835–848. https://doi.org/10.1002/jobm.202100275
236. Šovljanski, O., Saveljić, A., Aćimović, M., Šeregelj, V., Pezo, L., Tomić, A., Ćetković, G., & Tešević, V. (2022). Biological Profiling of Essential Oils and Hydrolates of Ocimum basilicum var. Genovese and var. Minimum Originated from Serbia. *Processes*, *10*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/pr10091893
237. Šovljanski, O., Tomić, A., Pezo, L., Ranitović, A., & Markov, S. (2020). Prediction of denitrification capacity of alkalotolerant bacterial isolates from soil—An artificial neural network model. *Journal of the Serbian Chemical Society*, *85*(11), 1417–1427.
238. Sowbhagya, H. B. (2014). Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (Apium graveolens L.): An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *54*(3), 389–398. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.586740
239. Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2020). *Sensory Evaluation Practices*. Academic Press.
240. Sung, B., Chung, H. Y., & Kim, N. D. (2016). Role of Apigenin in Cancer Prevention via the Induction of Apoptosis and Autophagy. *Journal of Cancer Prevention*, *21*(4), 216–226. https://doi.org/10.15430/JCP.2016.21.4.216
241. Syabana, M. A., Yuliana, N. D., Batubara, I., & Fardiaz, D. (2020). Antidiabetic activity screening and nmr profile of vegetable and spices commonly consumed in Indonesia. *Food Science and Technology*, *41*, 254–264. https://doi.org/10.1590/fst.14120
242. Székács, A., Wilkinson, M. G., Mader, A., & Appel, B. (2018). Environmental and food safety of spices and herbs along global food chains. *Food Control*, *83*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.033
243. Takó, M., Kerekes, E. B., Zambrano, C., Kotogán, A., Papp, T., Krisch, J., & Vágvölgyi, C. (2020). Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms. *Antioxidants*, *9*(2), 165. https://doi.org/10.3390/antiox9020165
244. Tamfu, A. N., Ceylan, O., Kucukaydin, S., & Duru, M. E. (2020). HPLC-DAD phenolic profiles, antibiofilm, anti-quorum sensing and enzyme inhibitory potentials of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze and *Curcuma longa* L. *LWT*, *133*, 110150. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110150

245. Tiveron, A. P., Melo, P. S., Bergamaschi, K. B., Vieira, T. M. F. S., Regitano-d'Arce, M. A. B., & Alencar, S. M. (2012). Antioxidant activity of Brazilian vegetables and its relation with phenolic composition. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(7), 8943–8957. https://doi.org/10.3390/ijms13078943
246. Toro-Uribe, S., Ibañez, E., Decker, E. A., Villamizar-Jaimes, A. R., & López-Giraldo, L. J. (2020). Food-Safe Process for High Recovery of Flavonoids from Cocoa Beans: Antioxidant and HPLC-DAD-ESI-MS/MS Analysis. *Antioxidants*, *9*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/antiox9050364
247. Torquato, I. O., Corrales, A., Mussagy, C. U., Pereira, J. F. B., & Lopes, A. M. (2025). Revolutionizing Curcumin Extraction: New Insights From Non-Conventional Methods—A Comparative Analysis of the Last Decade. *Journal of Separation Science*, *48*(7), e70198. https://doi.org/10.1002/jssc.70198
248. Tripalo, B., & Viličić, Ž. (1992). Sušenje. In *Hrvatska tehnička enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža.
249. Tsakni, A., Chatzilazarou, A., Tsakali, E., Tsantes, A. G., Van Impe, J., & Houhoula, D. (2023). Identification of Bioactive Compounds in Plant Extracts of Greek Flora and Their Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Separations*, *10*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/separations10070373
250. Tumbas Šaponjac, V., Gironés-Vilaplana, A., Djilas, S., Mena, P., Ćetković, G., Moreno, D. A., Čanadanović-Brunet, J., Vulić, J., Stajčić, S., & Krunić, M. (2014). Anthocyanin profiles and biological properties of caneberry (Rubus spp.) press residues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(12), 2393–2400. https://doi.org/10.1002/jsfa.6564
251. Turner, L., Lignou, S., Gawthrop, F., & Wagstaff, C. (2021). Investigating the factors that influence the aroma profile of *Apium graveolens*: A review. *Food Chemistry*, *345*, 128673. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128673
252. Velázquez, R., Rodríguez, A., Hernández, A., Casquete, R., Benito, M. J., & Martín, A. (2023). Spice and Herb Frauds: Types, Incidence, and Detection: The State of the Art. *Foods*, *12*(18), 3373. https://doi.org/10.3390/foods12183373
253. Venkateshwari, T., Ganapathy, S., Arulmari, R., & Vijayakumary, P. (2021). Effect of drying temperature on the curcumin content of turmeric rhizomes (Curcuma longa L.). *The Pharma Innovation Journal*, *10*(10), 2349–2351.
254. Vidinamo, F., Fawzia, S., & Karim, M. A. (2022). Effect of drying methods and storage with agro-ecological conditions on phytochemicals and antioxidant activity of fruits: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(2), 353–361. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1816891
255. Vučetić, A., Šovljanski, O., Pezo, L., Gligorijević, N., Kostić, S., Vulić, J., & Čanadanović-Brunet, J. (2025). A Comprehensive Antioxidant and Nutritional Profiling of Brassicaceae Microgreens. *Antioxidants*, *14*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/antiox14020191
256. Wada, N. M., Ambi, A. A., Ibrahim, A. A., Bello, S. K., Umar, A., & James, D. T. (2021). Antimicrobial Activity of Extracts of Turmeric (Curcuma longa) and Garlic (Aliium sativum) Against Selected Bacterial Clinical Isolates. *Mediterranean*

Journal of Infection, Microbes and Antimicrobials, *10*(1). https://doi.org/10.4274/mjima.galenos.2021.2020.6

257. Weselek, A., Bauerle, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., & Högy, P. (2021). Effects on Crop Development, Yields and Chemical Composition of Celeriac (Apium graveolens L. var. Rapaceum) Cultivated Underneath an Agrivoltaic System. *Agronomy*, *11*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/agronomy11040733
258. Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant Activity of Apple Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(3), 609–614. https://doi.org/10.1021/jf020782a
259. Wongsa, P., Chaiwarit, J., & Zamaludien, A. (2012). In vitro screening of phenolic compounds, potential inhibition against α-amylase and α-glucosidase of culinary herbs in Thailand. *Food Chemistry*, *131*(3), 964–971. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.088
260. Wszelaczyńska, E., Pobereżny, J., Gościnna, K., Retmańska, K., & Kozera, W. J. (2024). Nutritional Value of Parsley Roots Depending on Nitrogen and Magnesium Fertilization. *Agriculture*, *14*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/agriculture14010143
261. Wu, H., Liu, Z., Zhang, Y., Gao, B., Li, Y., He, X., Sun, J., Choe, U., Chen, P., Blaustein, R. A., & Yu, L. (2024). Chemical Composition of Turmeric (Curcuma longa L.) Ethanol Extract and Its Antimicrobial Activities and Free Radical Scavenging Capacities. *Foods*, *13*(10), Article 10. https://doi.org/10.3390/foods13101550
262. Wu, T., Luo, J., & Xu, B. (2015). In vitro antidiabetic effects of selected fruits and vegetables against glycosidase and aldose reductase. *Food Science & Nutrition*, *3*(6), 495. https://doi.org/10.1002/fsn3.243
263. Wu, T., Zhu, W., Chen, L., Jiang, T., Dong, Y., Wang, L., Tong, X., Zhou, H., Yu, X., Peng, Y., Wang, L., Xiao, Y., & Zhong, T. (2023). A review of natural plant extracts in beverages: Extraction process, nutritional function, and safety evaluation. *Food Research International*, *172*, 113185. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113185
264. Xiong, Y., Ng, K., Zhang, P., Warner, R. D., Shen, S., Tang, H.-Y., Liang, Z., & Fang, Z. (2020). In Vitro α-Glucosidase and α-Amylase Inhibitory Activities of Free and Bound Phenolic Extracts from the Bran and Kernel Fractions of Five Sorghum Grain Genotypes. *Foods*, *9*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/foods9091301
265. Yahia, E. M., Carrillo-López, A., & Bello-Perez, L. A. (2019). Chapter 9—Carbohydrates. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 175–205). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00009-9
266. Yan, J., Yu, L., Xu, S., Gu, W., & Zhu, W. (2014). Apigenin accumulation and expression analysis of apigenin biosynthesis relative genes in celery. *Scientia Horticulturae*, *165*, 218–224. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.018

267. Yang, Q.-Q., Cheng, L.-Z., Zhang, T., Yaron, S., Jiang, H.-X., Sui, Z.-Q., & Corke, H. (2020). Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*). *Industrial Crops and Products*, *152*, 112561. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112561
268. Yao, Y., Wang, W., Li, M., Ren, H., Chen, C., Wang, J., Wang, W. E., Yang, J., & Zeng, C. (2016). Curcumin Exerts its Anti-hypertensive Effect by Down-regulating the AT1 Receptor in Vascular Smooth Muscle Cells. *Scientific Reports*, *6*, 25579. https://doi.org/10.1038/srep25579
269. Yit, K. H., & Zainal-Abidin, Z. (2024). Antimicrobial Potential of Natural Compounds of Zingiberaceae Plants and their Synthetic Analogues: A Scoping Review of In vitro and In silico Approaches. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, *24*(13), 1158–1184. https://doi.org/10.2174/0115680266294573240328050629
270. Yu, H., & Hou, X. (2022). Hierarchical clustering in astronomy. *Astronomy and Computing*, *41*, 100662. https://doi.org/10.1016/j.ascom.2022.100662
271. Zhang, H. A., & Kitts, D. D. (2021). Turmeric and its bioactive constituents trigger cell signaling mechanisms that protect against diabetes and cardiovascular diseases. *Molecular and Cellular Biochemistry*, *476*(10), 3785–3814. https://doi.org/10.1007/s11010-021-04201-6
272. Zhang, Z., Li, X., Sang, S., McClements, D. J., Chen, L., Long, J., Jiao, A., Jin, Z., & Qiu, C. (2022). Polyphenols as Plant-Based Nutraceuticals: Health Effects, Encapsulation, Nano-Delivery, and Application. *Foods*, *11*(15), Article 15. https://doi.org/10.3390/foods11152189
273. Zhuang, X., Liao, L., Dong, X., Hu, X., Guo, Y., Du, Z., Liao, X., & Wang, L. (2016). Design, synthesis, and antihypertensive activity of curcumin-inspired compounds via ACE inhibition and vasodilation, along with a bioavailability study for possible benefit in cardiovascular diseases. *Drug Design, Development and Therapy*, *10*, 129–139. https://doi.org/10.2147/DDDT.S96315
274. Zombe, K., Nyirenda, J., Lumai, A., & Phiri, H. (2022). Impact of Solvent Type on Total Phenol and Flavonoid Content and Sun Protection Factor of Crude Cashew Nutshell Liquid. *Sustainable Chemistry*, *3*(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/suschem3030021
275. https://chicago.suntimes.com (pristupljeno: 15. 5. 2025)
276. https://www.fellow.dog/ingredient/parsley-root (pristupljeno: 15. 5. 2025)
277. https://img.freepik.com (pristupljeno: 20. 5. 2025)
278. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-HealthProfessional (pristupljeno: 10. 3. 2025)
279. https://ods.od.nih.gov/factsheets/calcium-HealthProfessional (pristupljeno: 10. 3. 2025)
280. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-HealthProfessional (pristupljeno: 12. 3. 2025)
281. https://ods.od.nih.gov/factsheets/magnesium-HealthProfessional (pristupljeno: 12. 3. 2025)

8. PRILOG

PRILOG 1

Tabela P1. Parametri instrumenta ICP OES spektrofotometra OPTIMA 8000

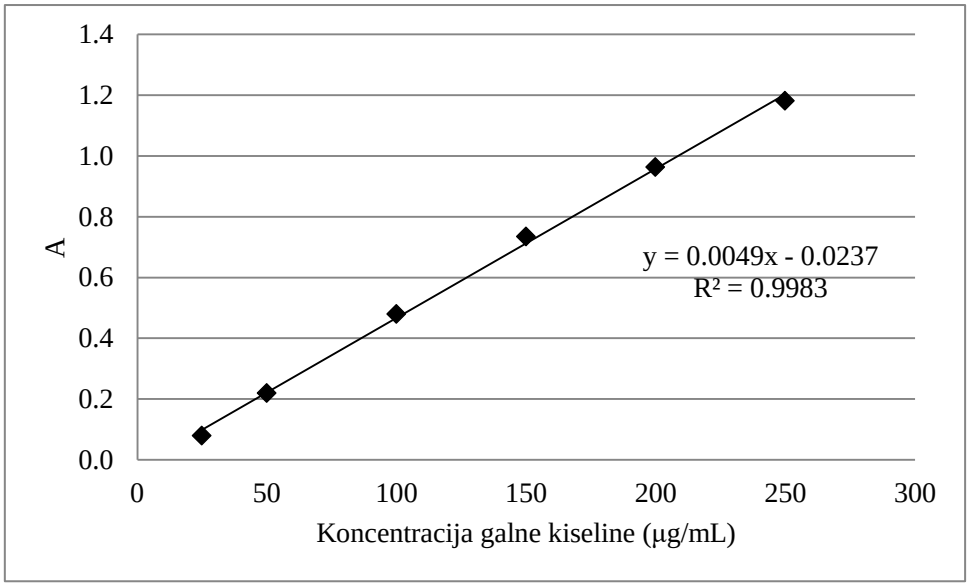
Snaga generatora (W)	1500
Protok argona za plazmu (L/min)	8
Protok pomoćnog gasa (argona) (L/min)	0,2
Protok gasa argona za raspršivanje (unošenje) uzorka (L/min)	0,7
Protok uzorka (mL/min)	1
Pravac posmatranja plazme	aksijalni i radijalni
Visina pogleda (mm)	15
Procesni dijagram	površina (7 tačaka)
Broj ponavljanja	3
Vreme očitavanja (s)	45
Kalibracija	linearna zavisnost
Raspršivač	Scott
Nebulizer	Perkin-Elmer cross-flow
Injektor i.d (mm)	2.0 (Alumina)
Kvarcna baklja	1-slot

PRILOG 2

Tabela P2. Limiti detekcija i koncentracije standardnih rastvora za kalibraciju ICP-OES spektrofotometra

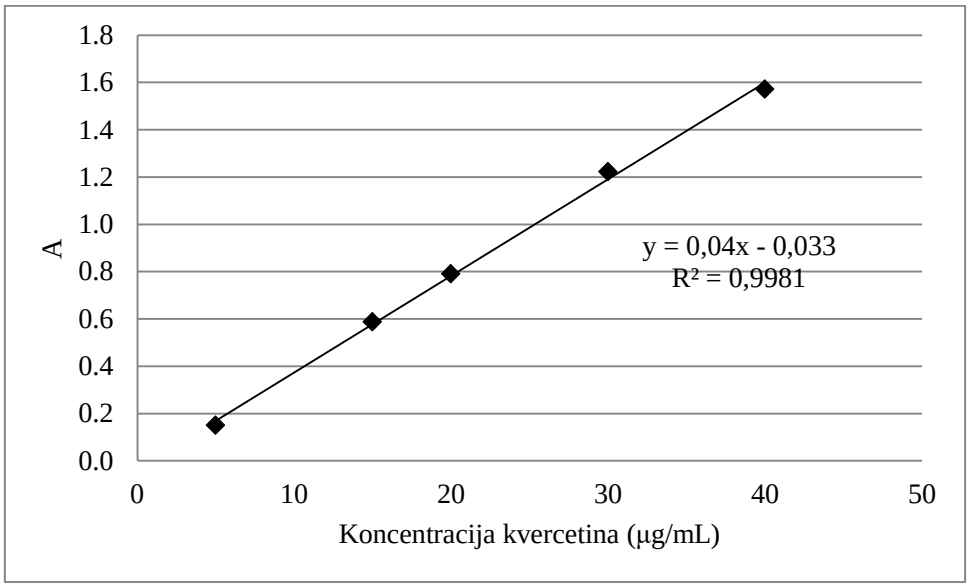
Element	Talasna dužina	Plazma	Limit detekcije (µg/L)	R^2	Koncentracije za kalibraciju
Na	589,592	aksijalno	0,5	0,9951	1-15 mg/L
Ca	317,933	aksijalno	0,05	0,9869	1-15 mg/L
K	766,490	aksijalno	1	0,9969	1-15 mg/L
P	213,617	aksijalno	4	0,9989	0,1-5 mg/L
Mg	285,213	radijalno	0,04	0,9998	0,1-5 mg/L
Zn	206,200	radijalno	0,2	0,9920	0,1-5 mg/L
Fe	238,204	aksijalno	0,1	0,9996	0,1-5 mg/L
Mn	260,568	aksijalno	0,1	0,9999	0,1-5 mg/L
Cu	327,393	aksijalno	0,4	0,9998	0,1-5 mg/L
Cr	267,716	aksijalno	0,2	0,9998	0,1-5 mg/L
Se	196,026	aksijalno	2	0,9997	0,1-5 mg/L
Cd	228,802	aksijalno	0,1	0,9999	0,1-5 mg/L
Pb	220,353	aksijalno	1	0,9999	0,1-5 mg/L
As	193,696	aksijalno	1	0,9999	0,1-5 mg/L
Co	228,616	aksijalno	0,2	0,9999	0,1-5 mg/L
Ni	231,604	aksijalno	0,5	0,9998	0,1-5 mg/L

PRILOG 3



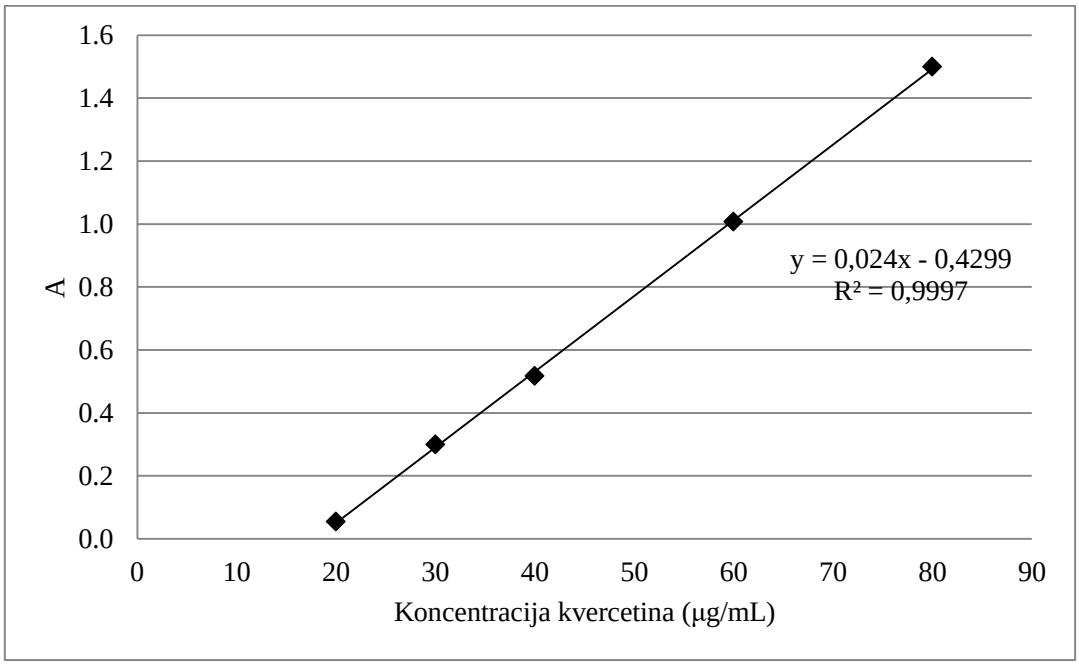
Slika P1. Kalibraciona kriva standardnog rastvora galne kiseline korišćena za određivanje sadržaja ukupnih polifenola

PRILOG 4



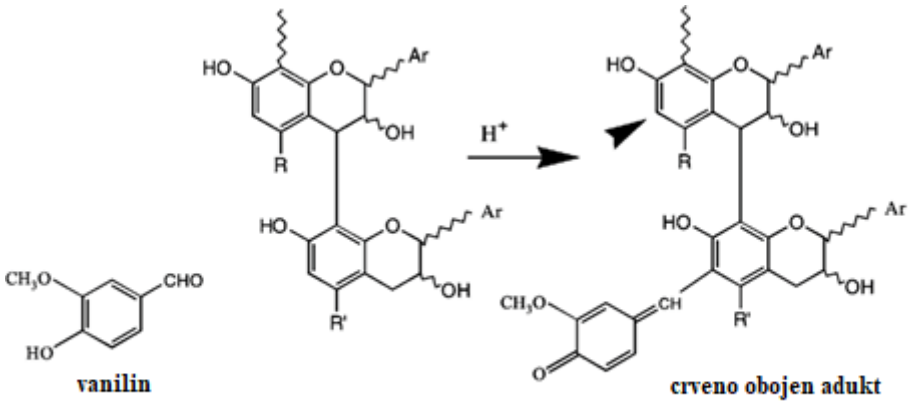
Slika P2. Kalibraciona kriva standardnog rastvora kvercetina korišćena za određivanje sadržaja ukupnih flavonoida

PRILOG 5



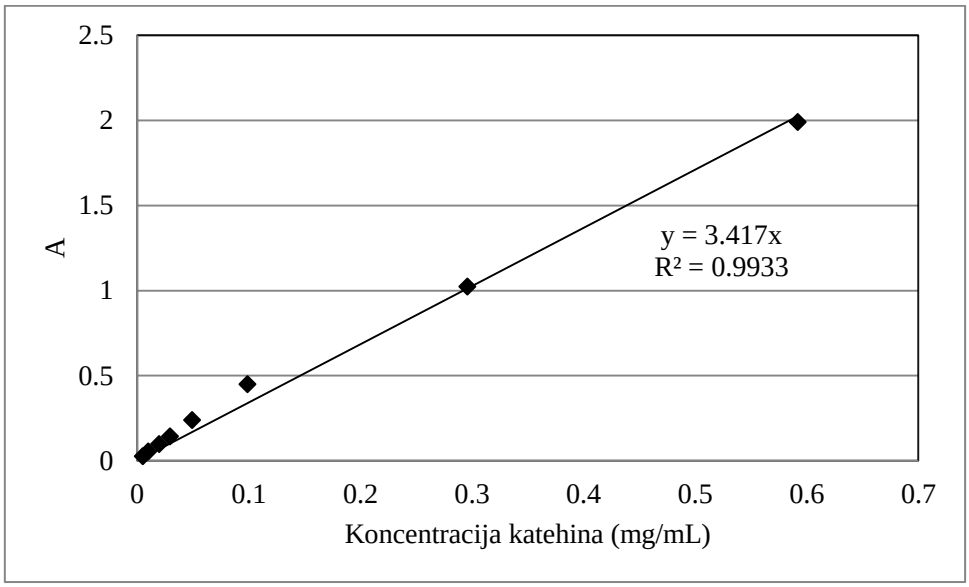
Slika P3. Kalibraciona kriva standardnog rastvora kvercetina korišćena za određivanje sadržaja ukupnih flavonola

PRILOG 6



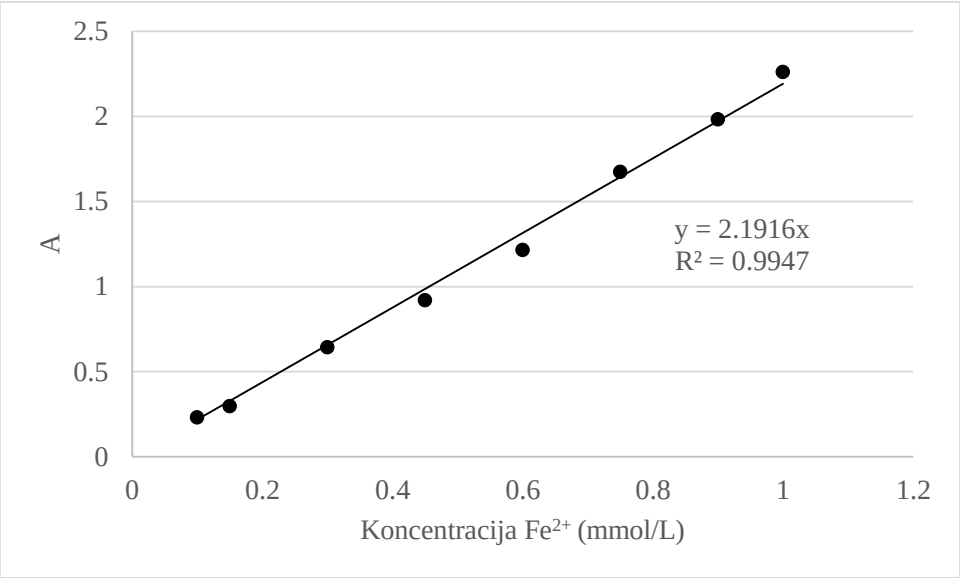
Slika P4. Mehanizam reakcije vanilina sa kondenzovanim taninom (flavan-3-olom) pri čemu nastaje crveno obojeno jedinjenje (modifikovano prema Shi i sar., 2022)

PRILOG 7



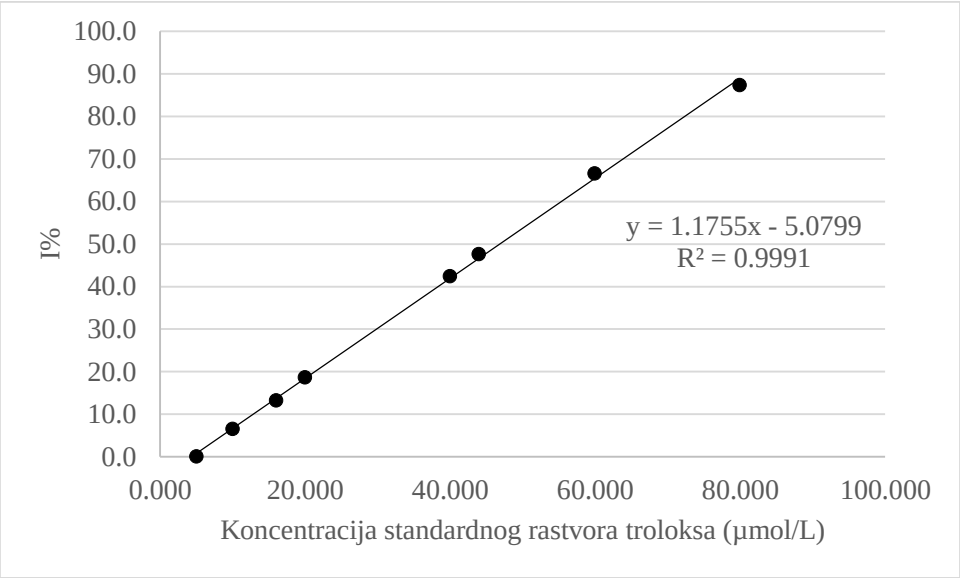
Slika P5. Kalibraciona kriva standardnog rastvora katehina korišćena za određivanje sadržaja ukupnih flavan-3-ola

PRILOG 8



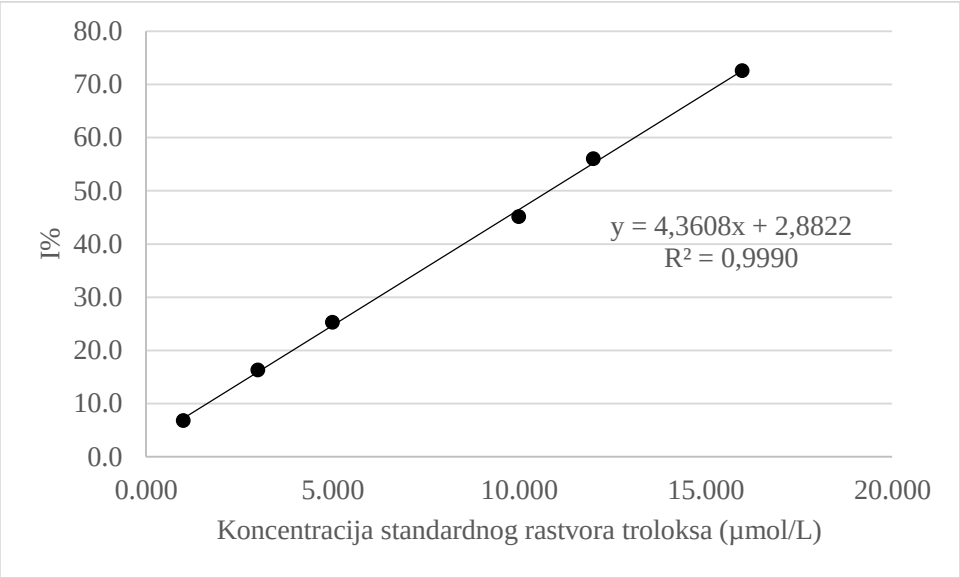
Slika P6. Kalibraciona kriva korišćena za određivanje antioksidativnog kapaciteta FRAP metodom

PRILOG 9



Slika P7. Kalibraciona kriva standardnog rastvora troloksa korišćena za određivanje antioksidativne aktivnosti uzoraka prema DPPH• testu

PRILOG 10



Slika P8. Kalibraciona kriva standardnog rastvora troloksa korišćena za određivanje antioksidativne aktivnosti uzoraka prema $ABTS^{\bullet+}$ testu

PRILOG 11

Tabela P3. Lista termina i šifri za opis boje – njenog inteziteta, nijanse boje – njenog intenziteta

Deskriptori i šifre za OPIS BOJE I NIJANSE BOJE				
Šifra	**BOJA**		**Intenzitet BOJE**	**Opis intenziteta BOJE**
B1	Bela			
B2	Žuta		**1**	**Bledo...** (npr. žuta)
B3	Narandžasta		**2**	**Blago svetlij**a...
B4	Crvena		**3**	**Jasno...**
B5	Zelena		**4**	**Malo tamnija...**
B6	Siva		**5**	**Tamna...**

Šifra	**NIJANSA BOJE**		**Intenzitet NIJANSE BOJE**	**Opis intenziteta NIJANSE BOJE**
N1	Bela			
N2	Žuta		**1**	**Jedva primetno** izražena...
N3	Narandžasta		**2**	**Veoma blago** izražena...
N4	Crvena		**3**	**Blago** izražena...
N5	Siva		**4**	**Jasno** izražena...
N6	Zelena		**5**	**Jako** izražena...

Tabela P4. Lista termina za opis i ocene inteziteta mirisa i arome, sa odgovarajućim šiframa

Opis i šifre za MIRISE I AROME	
Šifra	**Miris i aroma**
A1	Karakteristična za **koren celera**
A2	Karakteristična za **koren peršuna**
A3	Karakteristična za **rizom kurkume**
A4	**Ulja** ili orašastih plodova
A5	**Iglica od četinara** ili smole
A6	**Osvežavajući** - na mentu
A7	Sveže rezanog drveta - **piljevina**
A8	**Suvog sena**, osušene trave
A9	**Sveže pokošene trave**
A10	Toplog mleka
A11	Ustajalog vlažnog sena (trule trave ili močvare)
A12	Prašine, zemlje
A13	Plesni
A14	Bolnice ili medicinskih preparata
A15	Ostali mirisi ili arome (*navesti koji*)

OCENA INTEZITETA analiziranog senzorskog svojstva				
1	**2**	**3**	**4**	**5**
veoma blag	**blag**	**umeren**	**intenzivan**	**veoma intenzivan**

Tabela P5. Lista modaliteta ukusa, utisaka u ustima i ocene inteziteta

Šifra	Modaliteti UKUSA
U1	Slatko
U2	Slano
U3	Kiselo
U4	Gorko

Šifra	UTISAK U USTIMA
O1	Bljutav
O2	Osvežava/hladi
O3	Pecka
O4	Metalni utisak
O5	Skuplja usta – astrigencija

PRILOG 12

Laboratorija za senzorsku analizu namirnica	**1. OCENJIVAČKI LIST**					Ocenjivačko mesto:	
Datum analize:	Prezime i ime ocenjivača:						
Naziv proizvoda: **KORENASTO-KRTOLASTO ZAČINSKO BILJE**						Šifra uzorka:	
Odabrana senzorska svojstva		**Šifra za opis** svojstva i **Ocena intenziteta** svojstva				**Napomena/primedba**	
BOJA I NIJANSA BOJE	**Boja**:						
	Intenzitet:						
	Nijansa:						
	Intenzitet:						
MIRIS I AROMA	**Aroma**:						
	Intenzitet:						
UKUS	**Ukus:**						
	Intenzitet:						
UTISAK U USTIMA	**Utisak u ustima:**						
	Intenzitet:						

Zadatak:

Dostavljena Vam je serija uzoraka rastvora pripremljenih od korenasto-krtolastog začinskog bilja.

Analizirajte ih **redosledom sa leva na desno**, kako su servirani.

U odgovarajuće polje upišite **šifru** jednog ili više senzorskih svojstava koje ste prepoznali, i ocene intenziteta tog svojstva (od 1 do 5), kao što je dato u tabelama **Uputstva za senzorsku analizu**:

Tabeli 1 (za **boju** i nijansu boje); **Tabeli 2** (za **miris i aromu**) i **Tabeli 3** (za **ukus i utisak u ustima**).

Hvala za saradnju!

2. OCENJIVAČKI LIST **Ocena usaglašenosti senzorskog kvaliteta mirisa, arome i ukusa uzorka pripremljenog od korenasto-krtolastog začinskog bilja**					
ZAOKRUŽITE OCENU za **usaglašenost senzorskog kvaliteta uzorka:**	**5** Odlična	**4** Vrlodobra	**3** Dobra	**2** Zadovoljavajuća	**1** Loša
Navedite uzrok umanjenog kvaliteta:					

PRILOG 13

Tabela P5. Elementi matrice W_1 i vektora B_1 (prikazani u redu „nulti član“)

	1	2	3	4	5	6	7
Koren celera	0,974	3,996	-21,712	-11,919	-1,198	-3,732	-8,528
Rizom kurkume	7,251	-4,112	34,964	21,856	6,321	12,213	11,969
Koren peršuna	-6,930	1,114	-14,512	-10,951	-2,930	-10,333	-5,328
60 °C	-2,258	0,191	-4,399	-3,374	-0,904	-2,949	-0,893
90 °C	-1,737	0,207	-4,583	-3,351	-1,102	-2,524	-1,082
Liofilizacija	2,852	7,710	7,622	6,233	-4,697	0,204	-1,668
Sobna temperatura	-2,211	1,461	-3,269	-3,744	4,584	-2,930	2,357
Kontrolni uzorak	4,640	-8,386	3,250	3,199	4,313	6,416	-0,499
“nulti član”	1,197	1,081	-1,264	-0,983	2,217	-1,736	-1,791

Tabela P6. Elementi matrice W_2 i vektora B_2 (prikazani u koloni „nulti član“)

	1	2	3	4	5	6	7	“nulti član”
Ukupni polifenoli	1,303	8,166	3,547	3,195	-0,584	2,070	6,399	-6,873
Ukupni flavonoidi	0,296	7,851	3,989	3,304	-0,613	2,057	5,993	-6,674
Ukupni flavonoli	1,642	9,165	3,630	3,539	-0,181	2,414	5,857	-7,767
Ukupni flavan-3-oli	0,344	8,020	3,251	2,254	0,223	1,279	6,051	-3,413
IC_{50}^{ABTS}	-2,088	-0,621	-4,323	0,776	-3,925	1,534	-6,440	-5,699
IC_{50}^{DPPH}	-2,431	-5,226	-6,995	-6,749	2,682	0,130	-13,306	9,923
FRAP	-0,388	8,651	2,788	2,238	0,331	1,066	5,244	-1,972

Ovaj Obrazac čini sastavni deo doktorske disertacije, odnosno doktorskog umetničkog projekta koji se brani na Univerzitetu u Novom Sadu. Popunjen Obrazac ukoričiti iza teksta doktorske disertacije, odnosno doktorskog umetničkog projekta.

Plan tretmana podataka

Naziv projekta/istraživanja
Uticaj različitih postupaka sušenja na hemijski sastav i bioaktivnost celera, peršuna i kurkume
Naziv institucije/institucija u okviru kojih se sprovodi istraživanje
a) Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu b) Naučni institut za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu v) Tehnološki fakultet u Banjoj Luci, Univerzitet u Banjoj Luci g) Javna ustanova Veterinarski institut Republike Srpske „dr Vaso Butozan“ Banja Luka
Naziv programa u okviru kog se realizuje istraživanje
Program Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije
1. Opis podataka
1.1 Vrsta studije *Ukratko opisati tip studije u okviru koje se podaci prikupljaju:* ***Doktorske akademske studije*** 1.2 Vrste podataka **a)** kvantitativni **b)** kvalitativni 1.3. Način prikupljanja podataka a) ankete, upitnici, testovi b) kliničke procene, medicinski zapisi, elektronski zdravstveni zapisi v) genotipovi: navesti vrstu _____ g) administrativni podaci: navesti vrstu _____ **d) uzorci tkiva: sveži i osušeni uzorci korena celera, korena peršuna i rizoma kurkume** **đ) snimci, fotografije: fotografije uzoraka** **e) tekst, naučno-relevantna literatura, diskusija, komunikacija sa učesnicima u realizaciji rada, matematički proračuni** ž) mapa, navesti vrstu _____ **z) ostalo: eksperimentalni rezultati rada u laboratoriji** 1.3 Format podataka, upotrebljene skale, količina podataka 1.3.1 Upotrebljeni softver i format datoteke: **a) Excel fajl, datoteka .xlsx** b) SPSS fajl, datoteka _____ **c) PDF fajl, datoteka . pdf** **d) Tekst fajl, datoteka .docx**

e) JPG fajl, datoteka .jpg, .jpeg, .tiff
f) Ostalo, datoteka **Statistica 10.0**

1.3.2. Broj zapisa (kod kvantitativnih podataka)

a) broj varijabli: **zavisno od eksperimentalne postavke, uz 3 primarna uzorka koja su tema ispitivanja**
b) broj merenja (ispitanika, procena, snimaka i sl.) **zavisno od eksperimentalne postavke, minimum 3 ponavljanja za svaki korak istraživačkog rada**

1.3.3. Ponovljena merenja
a) da
b) ne

Ukoliko je odgovor da, odgovoriti na sledeća pitanja:
a) vremenski razmak izmedju ponovljenih mera je **od nekoliko minuta do nekoliko dana**
b) varijable koje se više puta mere odnose se na **sve eksperimentalne analize**
v) nove verzije fajlova koji sadrže ponovljena merenja su imenovane kao _____

Napomene: _____

Da li formati i softver omogućavaju deljenje i dugoročnu validnost podataka?
a) Da
b) Ne
Ako je odgovor ne, obrazložiti _____
_____

2. Prikupljanje podataka

2.1 Metodologija za prikupljanje/generisanje podataka

2.1.1. U okviru kog istraživačkog nacrta su podaci prikupljeni?
a) eksperiment: sušenje, fizičke, hemijske i biološke analize, optimizacija eksperimentalnim planom, senzorska analiza, pravljenje optimalne smeše uzoraka, određivanje parametara unapređenja zdravlja, itd.
b) korelaciono istraživanje: analiza standardne ocene, modelovanje veštačkih neuronskih mreža, višekriterijska optimizacija, analiza glavnih komponenti (eng. Principal Component Analysis), klasterska analiza (eng. Cluster analysis), Pearson-ova analiza korelacija
c) analiza teksta: prikupljanje literaturnih podataka i upoređivanje sa eksperimentalnim rezultatima, izvođenje zaključaka
d) ostalo, navesti šta _____

2.1.2 Navesti vrste mernih instrumenata ili standarde podataka specifičnih za određenu naučnu disciplinu (ako postoje).
_____

_____

2.2 Kvalitet podataka i standardi

2.2.1. Tretman nedostajućih podataka
a) Da li matrica sadrži nedostajuće podatke? Da **Ne**

Ako je odgovor da, odgovoriti na sledeća pitanja:
a) Koliki je broj nedostajućih podataka? _____
b) Da li se korisniku matrice preporučuje zamena nedostajućih podataka? Da Ne
v) Ako je odgovor da, navesti sugestije za tretman zamene nedostajućih podataka
_____

2.2.2. Na koji način je kontrolisan kvalitet podataka? Opisati.

Kvalitet podataka kontrolisan je određivanjem ponovljivosti dobijenih rezultata.

2.2.3. Na koji način je izvršena kontrola unosa podataka u matricu?
Kontrola unosa podataka je izvršena upoređivanjem sa eksperimentalnim rezultatima i literaturnim podacima.

3. Tretman podataka i prateća dokumentacija

3.1. Tretman i čuvanje podataka

*3.1.1. Podaci će biti deponovani u **НаРоУс – Nacionalnom repozitorijumu disertacija u Srbiji i u repozitorijumu Informacionog sistema naučne delatnosti Unoverziteta u Novom Sadu***

3.1.2. URL adresa https://nardus.mpn.gov.rs/;
3.1.3. DOI _____

3.1.4. Da li će podaci biti u otvorenom pristupu?
a) ***Da***
b) Da, ali posle embarga koji će trajati do _____
v) Ne

Ako je odgovor ne, navesti razlog _____

3.1.5. Podaci neće biti deponovani u repozitorijum, ali će biti čuvani.
Obrazloženje
_____
_____

3.2 Metapodaci i dokumentacija podataka
3.2.1. Koji standard za metapodatke će biti primenjen? _____

3.2.1. Navesti metapodatke na osnovu kojih su podaci deponovani u repozitorijum.
_____
_____

Ako je potrebno, navesti metode koje se koriste za preuzimanje podataka, analitičke i proceduralne informacije, njihovo kodiranje, detaljne opise varijabli, zapisa itd.
_____

3.3 Strategija i standardi za čuvanje podataka
3.3.1. Do kog perioda će podaci biti čuvani u repozitorijumu? **Neograničeno**
3.3.2. Da li će podaci biti deponovani pod šifrom? Da **Ne**
3.3.3. Da li će šifra biti dostupna određenom krugu istraživača? Da Ne
3.3.4. Da li se podaci moraju ukloniti iz otvorenog pristupa posle izvesnog vremena?
Da **Ne**
Obrazložiti
_____

_____

4. Bezbednost podataka i zaštita poverljivih informacija

Ovaj odeljak MORA biti popunjen ako vaši podaci uključuju lične podatke koji se odnose na učesnike u istraživanju. Za druga istraživanja treba takođe razmotriti zaštitu i sigurnost podataka.
4.1 Formalni standardi za sigurnost informacija/podataka
Istraživači koji sprovode ispitivanja s ljudima moraju da se pridržavaju Zakona o zaštiti podataka o ličnosti *(https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)* i odgovarajućeg institucionalnog kodeksa o akademskom integritetu.

4.1.2. Da li je istraživanje odobreno od strane etičke komisije? Da **Ne**
Ako je odgovor Da, navesti datum i naziv etičke komisije koja je odobrila istraživanje
_____

4.1.2. Da li podaci uključuju lične podatke učesnika u istraživanju? Da **Ne**
Ako je odgovor da, navedite na koji način ste osigurali poverljivost i sigurnost informacija vezanih za ispitanike:
a) Podaci nisu u otvorenom pristupu
b) Podaci su anonimizirani
c) Ostalo, navesti šta
_____
_____

5. Dostupnost podataka

5.1. Podaci će biti
a) javno dostupni
b) dostupni samo uskom krugu istraživača u određenoj naučnoj oblasti
c) zatvoreni

Ako su podaci dostupni samo uskom krugu istraživača, navesti pod kojim uslovima mogu da ih koriste:
_____
Ako su podaci dostupni samo uskom krugu istraživača, navesti na koji način mogu pristupiti podacima:
_____
5.4. Navesti licencu pod kojom će prikupljeni podaci biti arhivirani.
_____

6. Uloge i odgovornost

6.1. Navesti ime i prezime i mejl adresu vlasnika (autora) podataka

Staniša Latinović, stanisa.latinovic@tf.unibl.org

6.2. Navesti ime i prezime i mejl adresu osobe koja održava matricu s podacima

Staniša Latinović, stanisa.latinovic@tf.unibl.org

6.3. Navesti ime i prezime i mejl adresu osobe koja omogućuje pristup podacima drugim istraživačima

Staniša Latinović, stanisa.latinovic@tf.unibl.org