



UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
Domeniul Ingineria Produselor Alimentare



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Silvia MIRONEASA

Doctorand:
Ing. Ionica COȚOVANU

SUCEAVA
2022

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
Domeniul Ingineria Produselor Alimentare

**CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND
UTILIZAREA FĂINII DE
PSEUDOCEREALE ÎN PANIFICAȚIE**

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Silvia MIRONEASA

Doctorand:
Ing. Ionica COȚOVANU

SUCEAVA
2022

Mulțumiri

"Abilitatea noastră de a persevera, în ciuda obstacolelor și a dezamăgirilor, denotă încredere în noi înșine. Perseverența este o calitate de fier în drumul spre succes." Peter Arnold. Fără ajutorul Lui **Dumnezeu** nu aş fi ajuns până în acest moment de încununare a muncii mele de cercetare și mă simt recunoscătoare și binecuvântată pentru tot ce a Mi-a dăruit.

În primul rând, aş dori să-mi exprim recunoștința doamnei **Prof. univ. dr. ing. Silvia Mironeasa**, coordonator al acestei teze, pentru sprijinul copleșitor oferit la fiecare etapă a studiilor mele doctorale, pentru oportunitatea de a lucra împreună și îndrumarea sa neprețuită, care m-a ajutat să devin cercetătorul și omul care sunt astăzi. *Vă mulțumesc, doamnă profesor, pentru ghidare și încurajare necondiționată și pentru modelul de profesionalism și omenie cu care m-ați înconjurat permanent.*

Îmi exprim întreaga grațitudine și le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare: **Prof. univ. dr. ing. Sonia Amariei, Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Gutt, Prof. univ. dr. ing. Mircea Adrian Oroian** și **Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela Codină**, pentru toate recomandările științifice valoroase și pentru îndrumarea pe întreg parcursul elaborării tezei de doctorat, care au condus la îmbunătățirea rezultatelor acestei lucrări.

Mulțumesc distinșilor referenți oficiali, **Prof. univ. dr. ing. Sonia Amariei, Prof. univ. dr. ing. Sevastița Muste** și **Prof. univ. dr. ing. Daniela Borda** pentru onoarea oferită de a recenza și de a face parte din comisia de susținere publică a tezei.

Alese mulțumiri le adresez și doamnelor **ing. Georgeta Stoenescu** și **dr. ing. Mădălina Ungureanu-Iuga** pentru ajutorul și sfaturile neprețuite pe care mi le-au oferit și pentru prietenia lor.

Mulțumesc tuturor colegilor din cadrul Școlii Doctorale pentru sprijinul profesional și moral acordat pe tot parcursul stagiului doctoral, în special **drd. ing. Ancuța Petraru, drd. ing. Ana Batariuc, drd. ing. Ancuța Chetariu, drd. ing. Florin Ursachi, drd. ing. Ionuț Avrămia**.

În mod deosebit vreau să le mulțumesc părinților mei pentru toată susținerea și dragostea pe care mi-au oferit-o și le dedic teza aceasta de doctorat cu speranța de a le aduce bucuria și împlinirea sufletească că ceea ce au sădit într-o viață a dat roade, precum și surorilor mele, **Ramona** și **Emanuela** pentru sprijin, înțelegere și afecțiune imensă.

Mai presus de toate, îi mulțumesc soțului meu, **Paul Andrei**, care a fost alături de mine, pentru sprijinul neclintit și puterea de dăruire.

Cu emoții, dragoste și recunoștință, dedic și ofer ca omagiu această teză, **fetiței mele Maia-Teodora**, care a avut răbdare, m-a sprijinit și a crezut în mine toată perioada studiilor doctorale, chiar dacă de multe ori a fost privată de atenția mea.

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

LISTĂ DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI

INTRODUCERE

SCOP ȘI OBIECTIVE

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND UTILIZAREA FĂINII DE PSEUDOCEREALE ÎN PANIFICAȚIE

1.1. Făina de grâu și pâinea

1.2. Pseudocerealele: aspecte generale

1.3. Compoziția nutrițională a pseudocerealelor

1.3.1. Proteine

1.3.2. Lipide

1.3.3. Carbohidrați

1.3.4. Fibre alimentare

1.3.5. Vitamine și minerale

1.3.6. Componente bioactive

1.4. Procesarea prin măcinare a pseudocerealelor: efecte asupra compoziției nutriționale

1.5. Formularea și atributele de calitate ale produselor de panificație cu adaos de pseudocereale

1.5.1. Influența adaosului făinii de pseudocereale asupra proprietăților reologice ale aluatului din făină de grâu

1.5.2. Influența adaosului de făină din amarant, quinoa și hrișcă asupra calității pâinii

1.6. Beneficii pentru sănătate ale consumului produselor cu pseudocereale

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 2. METODOLOGIA DE CERCETARE

2.1. Materiale

2.2. Metode de analiză și aparatură

2.2.1. Determinarea compoziției chimice

2.2.2. Determinarea caracteristicilor făinii de grâu

2.2.3. Determinarea proprietăților funcțional-tehnologice ale făinurilor

2.2.4. Evaluarea microstructurii materiilor prime prin microscopie electronică de scanare (SEM)

2.2.5. Caracterizarea materiilor prime prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR)

2.2.6. Determinarea parametrilor de culoare

2.2.7. Determinarea activității α -amilazice din făinuri, a proprietăților reologice și de textură ale aluatului

2.2.8. Procesul de preparare a pâinii

2.2.9. Determinarea proprietăților fizice ale pâinii

2.2.10. Determinarea parametrilor de textură ai pâinii

2.2.11. Evaluarea microstructurii

2.2.12. Analiza senzorială

2.3. Proiectarea experimentelor și prelucrare statistică a datelor

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 3. CARACTERIZAREA MATERIILOR PRIME

3.1. Caracteristicile nutriționale ale fracțiilor făinii de pseudocereale și ale făinii de grâu

3.2. Proprietățile funcțional-tehnologice și de culoare ale fracțiilor făinii de pseudocereale

3.3. Evaluarea microstructurii particulelor făinii de pseudocereale prin microscopie electronică de scanare (SEM)

3.4. Analiza făinurilor prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR)

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 4. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI FĂINII DE AMARANT ÎN DIFERITE DOZE ȘI MĂRIMI DE PARTICULE ASUPRA CALITĂȚII FĂINII RAFINATE DE GRÂU ȘI REOLOGIEI ALUATULUI

4.1. Influența adaosului făinii de amarant în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

4.2. Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

4.2.1. Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

4.2.2. Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

4.2.3. Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu asupra comportării la fermentare a aluatului

4.2.4. Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

4.2.5. Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra texturii aluatului

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 5. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI FĂINII DE QUINOA ÎN DIFERITE DOZE ȘI MĂRIMI DE PARTICULE ASUPRA CALITĂȚII FĂINII RAFINATE DE GRÂU ȘI REOLOGIEI ALUATULUI

5.1. Influența adaosului făinii de quinoa în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

5.2. Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

5.2.1. Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

5.2.2. Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de quinoa în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

5.2.3. Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra comportării la fermentare a aluatului

5.2.4. Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

5.2.5. Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina de grâu asupra texturii aluatului

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 6. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA ADAOSULUI FĂINII DE HRIȘCĂ ÎN DIFERITE DOZE ȘI MĂRIMI DE PARTICULE ASUPRA CALITĂȚII FĂINII RAFINATE DE GRÂU ȘI REOLOGIEI ALUATULUI

6.1. Influența adaosului făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

6.2. Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

6.2.1. Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

6.2.2. Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

6.2.3. Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu asupra comportamentului la fermentare a aluatului

6.2.4. Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

6.2.5. Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra texturii aluatului

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 7. CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA DOZEI DE ADAOS ȘI A MĂRIMII PARTICULEI FĂINII DE AMARANT, QUINOA ȘI HRIȘCĂ ASUPRA CALITĂȚII PÂINII DIN FĂINĂ RAFINATĂ DE GRÂU

7.1. Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de amarant asupra calității pâinii

7.1.1. Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de făină de amarant și a parametrilor de culoare

7.1.2. Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de amarant

7.2. Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de quinoa asupra calității pâinii

7.2.1. Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de quinoa și a parametrilor de culoare

7.2.2. Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de quinoa

7.3. Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de hrișcă asupra calității pâinii

7.3.1. Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de făină de hrișcă și a parametrilor de culoare

7.3.2. Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de hrișcă

Concluzii parțiale

Bibliografie

CAPITOLUL 8. OPTIMIZAREA DOZEI DE ADAOS A FĂINII DE PSEUDOCEREALE ÎN FĂINA RAFINATĂ DE GRÂU ȘI CARACTERIZAREA PROBELOR OPTIME

8.1. Optimizarea dozei de adaos a făinii de pseudocereale în făina rafinată de grâu și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit și a calității pâinii

8.1.1. Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de amarant studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-amarant și a calității pâinii

8.1.2. Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de quinoa studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-quinoa și a calității pâinii

8.1.3. Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de hrișcă studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-hrișcă și a calității pâinii

8.2. Caracteristicile fizice ale pâinilor obținute din făina compozit optimă pentru fiecare din mărimile de particule studiate ale făinii de pseudocereale

8.3. Determinarea parametrilor de textură ai pâinilor optime

8.4. Compoziția nutrițională și valoarea energetică a pâinilor cu făină de amarant, quinoa și hrișcă la doza de adaos optimă pentru fiecare mărime a particulei studiate

8.4.1. Determinarea proprietăților fizico-chimice ale pâinilor cu făină de amarant, quinoa și hrișcă la doza de adaos optimă pentru fiecare mărime a particulei

8.4.2. Determinarea conținutului de aminoacizi al probele de pâine optime

8.4.3. Determinarea conținutului de macro- și micro-elemente al probelor de pâine optime

8.5. Analiza microstructurii miezului pâinilor

8.6. Analiza senzorială a pâinilor obținute din făinurile compozit optime

8.7. Evaluarea relațiilor dintre variabile

Concluzii parțiale

Bibliografie

CONCLUZII FINALE

LISTĂ DE FIGURI

LISTĂ DE TABELE

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

LISTĂ DE ABREVIERI

a^*	intensitatea nuanței de verde (-) sau de roșu (+);
AF	făină de amarant;
ANOVA	analiza de varianță;
b^*	intensitatea nuanței de albastru (-) sau de galben (+);
BD	densitatea în masă, (g/mL);
C1	cuplu corespunzător consistenței standard a aluatului, (N·m);
C1-2	diferența dintre cuplurile C1 și C2, măsura denaturării proteinelor, (N·m);
C2	cuplu corespunzător consistenței minime la înmuiere a aluatului, (N·m);
C3	cuplu corespunzător consistenței maxime la gelatinizarea amidonului, (N·m);
C3-2	diferența dintre cuplurile C3 și C2, măsura gelatinizării amidonului, (N·m);
C4	cuplu corespunzător consistenței minime a aluatului la gelificarea amidonului, (N·m);
C3-4	diferența dintre cuplurile C3 și C4, măsura stabilității gelului de amidon, (N·m);
C5	cuplu corespunzător consistenței maxime a aluatului la retrogradarea amidonului, (N·m);
C5-4	diferența dintre cuplurile C5 și C4, măsura retrogradării amidonului în timpul fazei de răcire, (N·m);
CH	capacitate de hidratare, (%);
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CR	coeficientul de reținere a gazelor în aluat, (%);
CRA	capacitate de reținere a apei, (g/g);
D	funcția obiectiv;
DT	timpul de dezvoltare al aluatului, (min);
FG	făină de grâu;
FT – IR	spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier;
G	energia de deformare a aluatului, (mm);
G'	modul de elasticitate, (Pa);
G''	modul de vâscozitate, (Pa);
GU	conținut de gluten umed, (%);
HF	făină de hrișcă;
H' _m	înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor, (mm);
FN	indicele Falling number, (s);
IDG	indice de deformare a glutenului, (mm);
J _{Cmax}	compliance maximă la fluaj, (Pa ⁻¹);
J _{rmax}	compliance maximă la revenire, (Pa ⁻¹);
L	extensibilitatea aluatului, (mm);
L*	luminozitate;
LVR	regiune vâsco – elastică;

MSR	metodologia suprafeței de răspuns;
O_A (L, M, S)	proba obținută din optimizarea adaosului făinii de amarant, corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S);
O_Q (L, M, S)	proba obținută din optimizarea adaosului făinii de quinoa, corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S);
O_H (L, M, S)	proba obținută din optimizarea adaosului făinii de hrișcă, corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S);
P/L	raport alveografic;
PCA	analiza componentelor principale;
QF	făină de quinoa;
SC	capacitate de umflare a amidonului, (%);
SEM	microscopie electronică de scanare;
ST	stabilitatea aluatului, (min);
tg δ	factorul de vâscozitate;
T _{max}	temperatura maximă de gelatinizare, (°C);
VR	volumul de gaze reținut de aluat la sfârșitul testului, (mL);
VT	volumul total de gaze format în aluat, (mL);
W	energia de deformare, (10 ⁻⁴ J);
WA	capacitatea de hidratare, (%);
WAC	capacitate de absorbție a apei, (%);
WRC	capacitate de reținere a apei, (%);

SCOP ȘI OBIECTIVE

Scopul prezentei teze de doctorat a urmărit studiul influenței substituirii făinii rafinate de grâu cu făină de pseudocereale (amarant, quinoa și hrișcă), la diferite doze de adaos și mărimi ale particulelor asupra caracteristicilor de panificație ale făinii și calității produsului finit, determinarea dozei optime de adaos în făinurile compozit grâu-amarant, grâu-quinoa și grâu-hrișcă, pentru mărimile particulelor mari, medii și mici ale făinurilor de pseudocereale în vederea obținerii proprietăților tehnologice dorite, precum și evaluarea calității nutriționale și senzoriale ale pâinilor fabricate din făinurile compozit optime.

Obiectivele propuse pentru atingerea scopului au cuprins:

1. Efectuarea unui studiu privind stadiul actual al cercetărilor privind utilizarea făinii de pseudocereale în produse de panificație.
2. Pregătirea materiilor prime și stabilirea metodologiei de cercetare.
3. Determinarea caracteristicilor fizico-chimice, funcționale, microstructurale și moleculare ale făinii de grâu și ale particulelor de mărimi diferite ale făinurilor de pseudocereale, amarant, quinoa și hrișcă.
4. Stabilirea matricii experimentale și determinarea caracteristicilor tehnologice pentru studiul influenței mărimii particulelor făinurilor de pseudocereale și a dozei de adaos asupra făinii rafinate de grâu, aluatului și pâinii.
5. Studiarea influenței mărimii particulelor făinii de amarant și a dozei de adaos asupra calității făinii de grâu, aluatului și pâinii și stabilirea de modele predictive.
6. Studiarea influenței mărimii particulelor făinii de quinoa și a dozei de adaos asupra calității făinii de grâu, aluatului și pâinii și stabilirea de modele predictive.
7. Studiarea influenței mărimii particulelor făinii de hrișcă și a dozei de adaos asupra calității făinii de grâu, aluatului și pâinii și stabilirea de modele predictive.
8. Optimizarea dozei de adaos a făinii de amarant, quinoa și hrișcă pentru fracțiile mari, medii și mici ale făinurilor de pseudocereale în făina rafinată de grâu și validarea rezultatelor.
9. Caracterizarea complexă a pâinilor fabricate din făinurile compozit optime grâu-amarant, grâu-quinoa și grâu-hrișcă pentru fracțiile mari, medii și mici ale făinurilor de pseudocereale.

Cuvinte cheie:

- amarant;
- quinoa;
- hrișcă;
- mărimea particulelor;
- făină albă de grâu;
- făină compozit;
- proprietăți fizico-chimice;
- microstructură;
- structură moleculară;
- proprietăți funcțional-tehnologice;
- reologia aluatului;
- optimizare;
- pâine.

Teza de doctorat intitulată „*Cercetări și contribuții privind utilizarea făinii de pseudocereale în panificație*” cuprinde lista de abrevieri, introducerea unde sunt definite scopul și obiectivele lucrării, opt capitole care includ în final fiecare concluzii parțiale și bibliografie, concluziile finale ale tezei, contribuțiile originale, precum și diseminarea rezultatelor cercetării.

Capitolul 1 intitulat „*Stadiul actual al cercetărilor*” cuprinde stadiul actual al cunoașterii privind efectele diferitor mărimi de particule și doza de adaos a acestor fracții în făina de grâu asupra calității pâinii.

Numeroase studii din literatura de specialitate evidențiază îmbunătățirea caracteristicilor nutritive ale făinii de grâu prin încorporarea de noi ingrediente funcționale și dezvoltarea de produse nutritive sigure și sănătoase (Dewettinck și colab., 2008). Introducerea pseudocerealelor în produse de panificație poate urmări și creșterea cantității și calității proteinelor în produsul finit. Prin aplicarea fracționării și cernerii, se pot obține fracții îmbogățite în anumiți compuși, cum ar fi proteine, ceea ce poate conduce la noi aplicații și produse cu caracteristici îmbunătățite. Produsele de panificație îmbunătățite pot fi formulate prin adăugarea în făina rafinată de grâu a făinii de pseudocereale, la diferite doze de adaos și dimensiuni ale particulelor, cu proprietăți funcționale specifice.

Făinurile cu grad mare de extracție prezintă o cantitate mare de acid fitic, fiind cunoscut drept componentă antinutrițională în cereale și legume (Garcia-Esteva și colab., 1999; Oatway și colab., 2001). Cercetările au demonstrat structura sa unică, care îi conferă capacitatea de a chela mineralele (calciu, fier, magneziu), proteinele și amidonul cu efecte negative asupra funcționalității biologice (Rickard și Thompson, 1997; Oatway și colab., 2001).

Din studiul literaturii de specialitate s-a observat o variație a compoziției nutriționale a pseudocerealelor în funcție de varietate, specie, origine geografică și condițiile pedo-climatice. Pseudocerealele conțin proteine de înaltă calitate, cantități moderate de amidon cu caracteristici unice, cantități mari de micronutrienți precum minerale, vitamine și compuși bioactivi și nu conțin gluten, ceea ce le face potrivite pentru dieta persoanelor cu boala celiacă.

Măcinarea este una dintre metodele fizice de procesare preferate pentru a obține făină din pseudocereale datorită costurilor reduse și a problemelor legate de mediu (Haros și Schoenlechner, 2017). Compoziția făinii din pseudocereale va fi influențată în mod semnificativ de metoda de măcinare iar caracteristicile nutriționale și proprietățile tehnico-funcționale ale făinii obținute vor fi diferite, în funcție de mărimea particulelor. Caracteristicile făinurilor sau amidonului de pseudocereale au o influență substanțială asupra calității produsului finit.

Măcinarea pseudocerealelor generează fracții cu compoziții nutritive unice și proprietăți funcționale distincte care pot fi utilizate ca ingrediente în formularea diferitelor produse alimentare (Sakhare și Prabhasankar 2017; Coțovanu și Mironeasa 2022a; Coțovanu și Mironeasa 2022b; Coțovanu și Mironeasa, 2021a). În fracția de tărâțe din semințele de quinoa s-a găsit o parte importantă de proteine (20,4 – 24,3%) și lipide (11,0 – 13,2%), în timp ce fracția de făină a fost mai bogată în amidon (73,8%) și săracă în proteine (6,5%) (Schoenlechner și colab., 2010). Compoziția fracțiilor măcinate a evidențiat abundența țesuturilor aleuronice ale semințelor de hrișcă și în alt studiu (Steadman și colab., 2001), care a demonstrat că amidonul este concentrat în endosperm, în timp ce proteinele, lipidele, carbohidrații și mineralele sunt concentrate în embrion.

Dimensiunea particulelor făinurilor de pseudocereale încorporate în produsele de panificație are un efect considerabil în ceea ce privește compoziția chimică, reologia aluatului, parametrii de textură și calitatea pâinii fabricate. Măcinarea și obținerea de fracții cu mărimi diferite generează făinuri cu compoziții nutritive unice și proprietăți funcționale distincte care pot fi utilizate ca ingrediente în formularea diferitelor produse alimentare. Acest lucru se datorează structurii și morfologiei semințelor de pseudocereale.

Întrucât pseudocerealele nu conțin gluten, pentru a obține cele mai bune proprietăți reologice ale aluatului și caracteristici de calitate ale pâinii din făină rafinată de grâu cu adaos de făină de pseudocereale, este necesară aplicarea unui proces de optimizare care are ca scop și îmbunătățirea nutrițională a produsului finit. Pseudocerealele conțin, de asemenea, o multitudine de compuși bioactivi, inclusiv saponine, compuși fenolici, fitosteroli, fitoecdisteroizi, polizaharide, proteine și peptide bioactive. Acești compuși sunt considerați responsabili pentru efectele benefice asupra sănătății și ajută astfel să promoveze și să reducă riscul apariției diferitelor tulburări cronice inclusiv cancerul, bolile cardiovasculare, diabetul și îmbătrânirea.

Capitolul 2 al tezei, "*Metodologia de cercetare*" cuprinde materialele și metodele folosite în determinările experimentale pentru îndeplinirea obiectivelor propuse. În vederea efectuării cercetărilor experimentale s-a folosit făina rafinată de grâu tip 650 și semințe de pseudocereale, amarant, quinoa și hrișcă. Semințele de pseudocereale au fost măcinate cu o moară de laborator și cernute cu un sistem de sitare cu vibrații în vederea obținerii făinii integrale de pseudocereale cu mărimea particulelor $< 500 \mu\text{m}$. Dimensiunile particulelor făinii de pseudocereale au fost determinate prin cernerea acestora pe 3 site cu dimensiunea ochiurilor de $500 \mu\text{m}$, $300 \mu\text{m}$ și $180 \mu\text{m}$. Frațiile de făină utilizate în cercetarea experimentală au fost: fracția de mărime mare (L, $> 300 \mu\text{m}$, $< 500 \mu\text{m}$), fracția de mărime medie (M, $> 180 \mu\text{m}$, $< 300 \mu\text{m}$) și fracția de mărime mică (S, $< 180 \mu\text{m}$), iar acestea au fost codificate în funcție de tipul de pseudocereală astfel: AL, AM și AS pentru amarant, QL, QM și QS pentru quinoa și HL, HM și HS pentru hrișcă (figura 2.1).

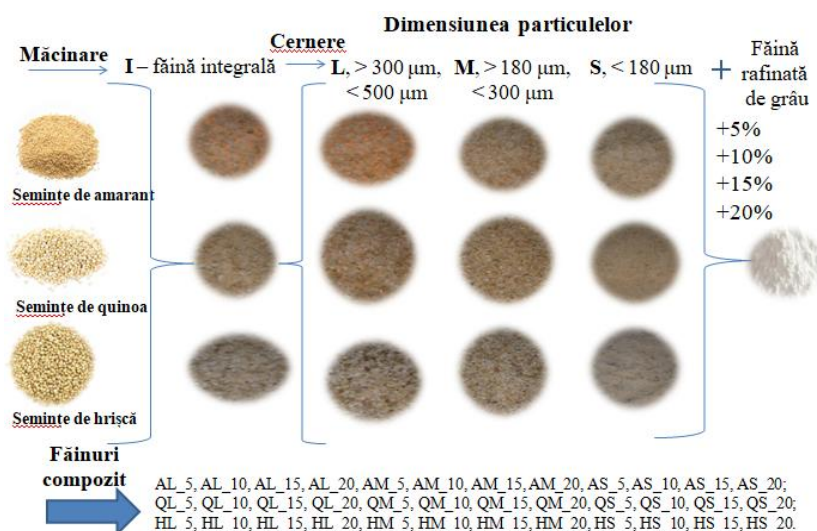


Figura 2.1. Reprezentarea grafică a procedurii de obținere a făinurilor compozit grâu-pseudocereale

A fost proiectată matricea experimentală prin utilizarea experimentului de tip Full factorial cu doi factori pentru a evalua influența mărimii particulei făinii de pseudocereală (A) și a dozei de adaos (B) în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor de panificație ale făinurilor, proprietăților reologice ale aluatului și caracteristicilor pâinilor. Matricea experimentală proiectată, unde mărimea particulei a variat la trei nivele iar doza de adaos la cinci nivele, a inclus un număr de 15 experimente și a permis evaluarea efectului singular și de interacțiune a factorilor asupra caracteristicilor determinate, denumite răspunsuri.

Determinările experimentale au fost realizate cu ajutorul aparaturii din dotarea laboratoarelor Facultății de Inginerie Alimentară din cadrul Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava, precum și a laboratoarelor companiei Arcada S.A. Șendreni, Galați și Dizing S.R.L. Brusturi, Neamț.

Caracterizarea materiilor prime, a făinii de grâu și a fracțiilor de mărimi diferite ale făinii de pseudocereale (amarant, quinoa și hrișcă), a fost realizată prin determinarea

caracteristicilor nutriționale, moleculare, microstructurale, a proprietăților funcțional-tehnologice și a parametrilor de culoare.

Pentru făina de grâu au fost determinate și conținutul de gluten umed, gluten uscat, indicile de deformare al glutenului și indicile Falling number. Pentru făinurile compozit formulate s-au determinat caracteristicile fizico-chimice, activitatea α -amilazei și parametrii de culoare. Evaluarea comportamentului reologic al aluatului s-a efectuat prin utilizarea de **metode reologice empirice** pentru determinarea *proprietățile reologice de frământare și de vâscozitate cu ajutorul Mixolabului, proprietățile reologice de întindere ale aluatului prin metoda alveografică, comportamentului la fermentare cu ajutorul Rheofermentometrului și metode reologice fundamentale*, cu ajutorul reometrului dinamic Thermo-HAAKE MARS 40 pentru a determina variația *modulelor de elasticitate și de vâscozitate cu frecvența, cu temperatura și comportamentul aluatului la fluaj și revenire*.

Procesul de preparare a pâinii s-a realizat prin *metoda bifazică*, la capacitatea optimă de absorbție a apei determinată la Mixolab (figura 2.2.).

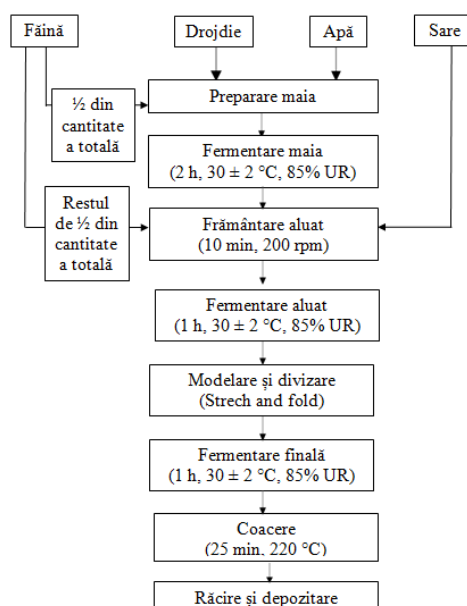


Figura 2.2. Schema tehnologică de obținere a pâinii prin metoda indirectă

Probele de pâine fabricate din făina compozit, respectiv din făina de grâu au fost analizate din punct de vedere al caracteristicilor fizice, al parametrilor mecanici de textură și evaluate senzorial.

Prin utilizarea analizei de regresie multiplă a fost verificată potrivirea rezultatelor experimentale cu diverse modele matematice iar gradul de potrivire a fost determinat prin analiza de varianță (ANOVA), la un nivel de semnificație de 95%, prin evaluarea valorii coeficientului de determinare (R^2), a coeficientului de determinare ajustat ($Adj.-R^2$) și a testului Fisher (F).

Optimizarea dozei de adaos a făinii de pseudocereale pentru mărimile de particule studiate a fost realizată prin abordarea optimizării răspunsurilor multiple și utilizarea programului Design Expert (versiunea de încercare). S-a aplicat optimizarea numerică a răspunsurilor multiple cu utilizarea funcției obiectiv unde fiecare răspuns prezis a fost transformat într-o funcție obiectiv individuală, care cuprinde prioritățile dorite de către cercetător. În scopul stabilirii dozei optime, fiecărei variabile i s-a atribuit o categorie de importanță de nivel 3 și au fost impuse o serie de condiții determinate de cerințele procesului tehnologic și de parametrii de calitate ai pâinii.

Testul statistic *Student* (*t*) a fost aplicat pentru a verifica dacă există diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între caracteristicile prezise pentru probele optime și cele verificate experimental, iar testul Tukey, pentru a testa diferențele dintre caracteristicile probelor optime și martor.

Capitolul 3 – "Caracterizarea materiilor prime" prezintă proprietățile fizice și chimice, nutriționale, funcțional-tehnologice și de culoare, microstructura și caracteristicile moleculare ale făinii de grâu și ale fracțiilor de mărimi diferite ale făinii de amarant, quinoa și hrișcă, precum și proprietățile de panificație ale făinii de grâu. Făina de grâu utilizată în cercetări a fost făina rafinată de tip 650, care a avut un conținut de gluten umed de 30,00%, gluten uscat de 9,75%, indicele de deformare a glutenului de 6 mm, iar indicele FN de 312 s.

Făina de amarant fracționată pe particule mari, medii și mici a prezentat variații în conținutul de umiditate, proteine, lipide, cenușă și carbohidrați. Fracțiile mici, urmate de cele medii, au prezentat un conținut ridicat de proteine și cenușă, în timp ce particulele mari au un conținut ridicat de carbohidrați. Separarea diferitelor dimensiuni ale particulelor de făină de amarant a condus la obținerea de diferite fracții, bogate în substanțe nutritive, care pot fi utilizate separat în dezvoltarea produselor alimentare cu valoare adăugată. Fracția mică a AF s-a evidențiat prin cantități ridicate de calciu (197,66 mg/100 g) și potasiu (507,05 mg/100 g), în timp ce făina integrală de amarant a prezentat un conținut ridicat de fier (9,83 mg/100 g) și mangan (5,60 mg/100 g). Aminoacizii din fracțiile făinii de amarant au fost prezenți în cantități mai mari decât în făina de grâu, în special în fracțiile de dimensiune medie și mică. Reducerea dimensiunii particulelor a determinat creșterea capacității de hidratare a AF, în timp ce densitatea volumetrică a scăzut.

Fracțiile făinii de quinoa au prezentat variații în compoziția chimică, în conținutul de minerale și aminoacizi, precum și pentru proprietățile funcțional-tehnologice în funcție de dimensiunea particulelor. Dimensiunile medii ale particulelor, urmate de particulele mici, au indicat un conținut ridicat de aminoacizi, proteine și cenușă, în timp ce particulele mari sunt bogate în carbohidrați. Fracțiile făinii de quinoa s-au evidențiat printr-un conținut mai mare de potasiu, calciu, magneziu și mangan mai mare decât cel din făina de grâu. Capacitatea de absorbție și capacitatea de reținere a apei a fost mai mare pentru particule de dimensiuni medii, comparativ cu cele mari și mici, în timp ce particulele mici au avut o capacitate de umflare mai mare, față de cele mari și medii.

Fracțiile făinii de hrișcă au prezentat diferențe în compoziția chimică, conținutul de macro și micro elemente, aminoacizi și proprietățile funcțional-tehnologice în funcție de dimensiunea particulelor. Un conținut ridicat de proteine, lipide, calciu, magneziu, fenilalanină, valină și acid glutamic a fost obținut pentru particulele de dimensiune medie, în timp ce particulele de dimensiune mare, urmate de particulele de dimensiune mică, sunt bogate în carbohidrați, metionină și acid glutamic. Dimensiunea medie a particulelor a avut o capacitate de absorbție și de reținere a apei, precum și o capacitate de umflare mai mare, în timp ce particulele de dimensiuni mici au prezentat o densitate volumetrică mai mare. Microscopia electronică de scanare (SEM) a fost utilizată pentru a observa microstructura fracțiilor făinii de pseudocereale și pentru a evalua în profunzime mecanismul intrinsec al modului în care acest tip de făină poate influența performanța de coacere a pâinii din făină de grâu. Structura și distribuția proteinelor variază în structura semințelor pentru toate cerealele și pseudocerealele. Evaluarea microstructurii a evidențiat diferite caracteristici structurale în funcție de dimensiunile fracțiilor făinii de amarant, quinoa și hrișcă (figura 3.1a, b, c), care vor influența formarea aluatului și procesul de coacere al pâinii.

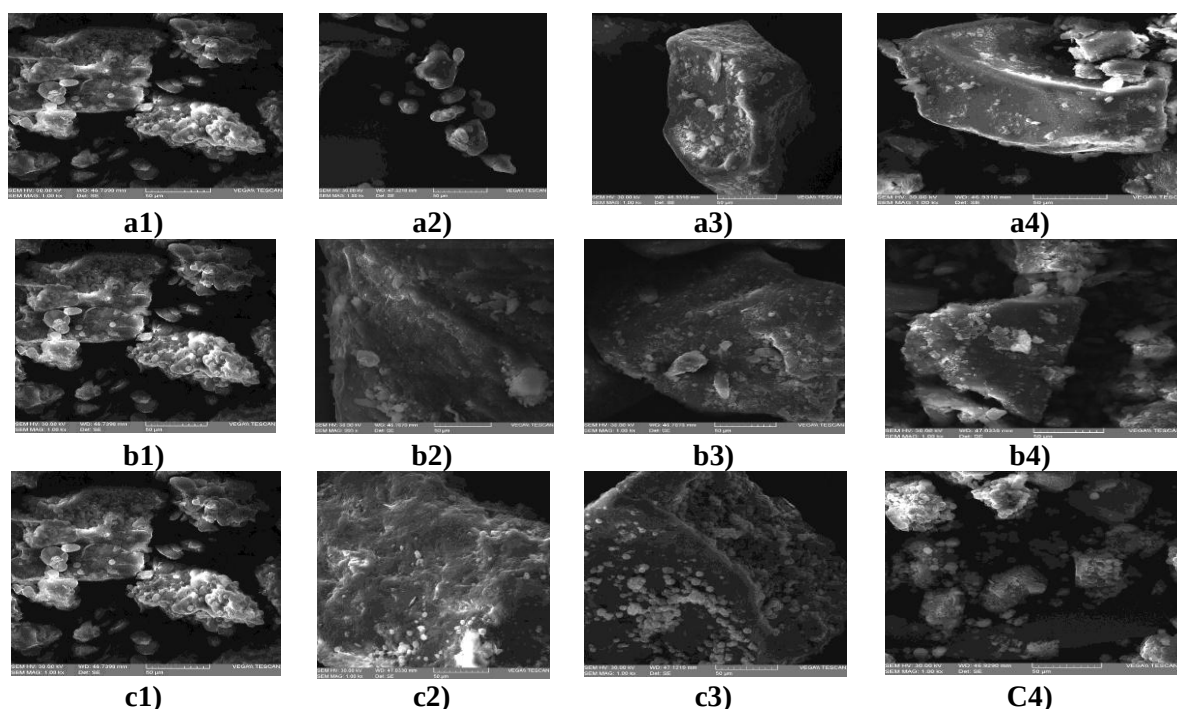


Figura 3.1. Microstructura făinii de amarant (a), de quinoa (b) și de hrișcă (c) cu mărimea particulei mari, L (2), medii, M (3) și mici, S (4) în comparație cu făină de grâu (1) (Coțovanu și colab., 2021; Coțovanu și Mironeasa, 2022a, c)

Pentru a identifica schimbările care se produc la nivel molecular în particulele făinii de pseudocereale comparativ cu cele din făina de grâu s-a folosit spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR) (figura 3.2).

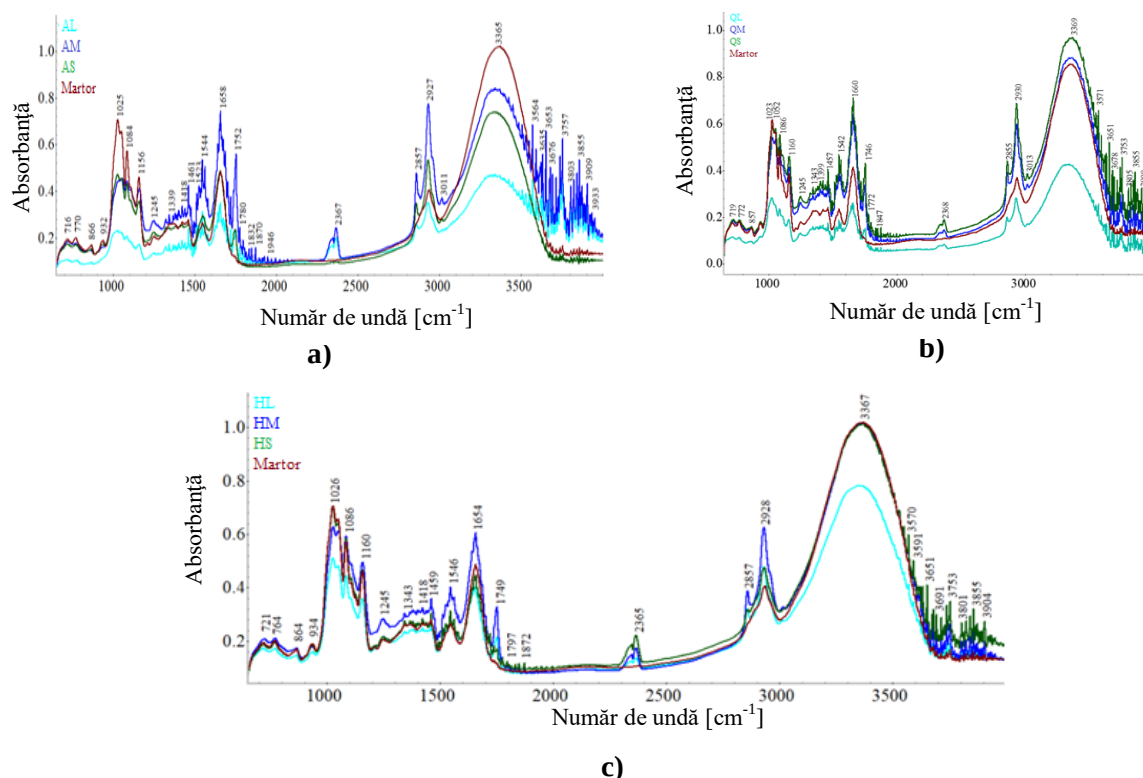


Figura 3.2. Spectrul FT-IR al făinii de grâu și al particulelor (L, M și S) făinii de amarant (a), quinoa (b) și hrișcă (c) (Coțovanu și colab., 2021; Coțovanu și Mironeasa, 2022a, c)

Capitolul 4 este intitulat "Cercetări privind influența adaosului făinii de amarant în diferite doze și mărimi de particule asupra calității făinii rafinate de grâu și reologiei aluatului" și are în vedere evaluarea efectului mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii, precum și asupra parametrilor reologici și de textură ai aluatului.

Influența adaosului făinii de amarant în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

Creșterea cantității de făină de amarant (AF) în făina rafinată de grâu și scăderea mărimii particulei de AF au determinat creșterea semnificativă a conținutului de proteine, lipide și cenușă, în timp ce umiditatea și conținutul de carbohidrați a făinii compozit au scăzut. Înlocuirea parțială a făinii de grâu cu fracțiile făinii de amarant cu dimensiuni medii și mici a crescut conținutul de proteine odată cu creșterea dozelor de adaos a făinii de amarant, datorită aportului constituenților chimici ai acestor particule. Conținutul de lipide și cenușă au crescut în făina compozit pentru toate dozele de adaos și pentru toate dimensiunile particulelor, în timp ce conținutul de carbohidrați a urmat o tendință inversă. O scădere a luminozității (L^*) s-a obținut atunci când doza de adaos a crescut.

Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

Datele experimentale obținute pentru proprietățile reologice ale aluatului determinate prin metode empirice și dinamice au fost supuse analizei de varianță în scopul obținerii de modele matematice care să prezică cu o precizie cât mai ridicată variația parametrilor evaluați în funcție de cei doi factori, mărimea particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu. Efectul simultan al celor doi factori asupra proprietăților reologice ale aluatului a fost investigat prin metodologia suprafeței de răspuns. Rezultatele analizei de varianță pentru modelele predictive sunt prezentate în tabelele 4.1, 4.2, 4.3 și 4.4.

Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Mărimea particulelor făinii de amarant (AF) și doza de adaos au determinat variații ale activității α -amilazei, cuantificată prin indicele falling number (FN), în făina compozit grâu-amarant și ale parametrilor reologici Mixolab. Variația parametrilor determinați în funcție de cei doi factori de formulare este prezisă adecvat de modelul matematic de tip pătratic (tabelul 4.1).

Tabelul 4.1. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru indicele FN și caracteristicile Mixolab ale aluatului (Coțovanu și colab., 2020a)

Factori	Parametri											
	FN (s)	WA (%)	DT (min)	ST (min)	C2 (N·m)	C1-2 (N·m)	C3 (N·m)	C3-2 (N·m)	C4 (N·m)	C3-4 (N·m)	C5 (N·m)	C5-4 (N·m)
Constant	317,06	58,65	2,98	9,65	0,50	0,62	1,73	1,23	1,57	0,16	2,38	0,81
A	-1,96	-0,53**	0,45	1,17**	0,06**	-0,05**	0,12**	0,05**	0,03	0,09**	0,03	-0,01
B	-2,98	0,40*	1,53**	-1,06**	-0,04**	0,04**	-0,20**	-0,15**	-0,33**	0,13**	-0,60**	-0,28**
A x B	-5,95*	-0,77**	0,47	0,78*	0,04**	-0,04**	0,08**	0,04*	0,01	0,07**	-0,03	-0,03
A ²	-2,40	-0,42*	-	-0,55	-0,03**	0,01	-0,04	-	-0,02	-0,02	-0,05	-0,03
B ²	-7,90*	0,58*	-	-0,52	-0,002	0,03*	0,01	-	0,02	0,03	0,05	0,07
<i>Evaluarea modelului</i>												
R ²	0,71	0,93	0,68	0,83	0,94	0,93	0,96	0,95	0,95	0,96	0,93	0,89
Adj.-R ²	0,55	0,99	0,59	0,74	0,91	0,90	0,93	0,95	0,92	0,94	0,99	0,82
p	0,0265	< 0,0001	0,0047	0,0028	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0005

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de amarant în făina albă de grâu (%), R² – coeficient de determinare, Adj.-R² – coeficient de determinare ajustat, FN – Falling number, WA – Capacitatea de absorbție a apei, DT – Timp de dezvoltare, ST – Stabilitate aluat, C2 – Consistența minimă în timpul fazei de denaturare a proteinelor, C1-2 – Diferența dintre C1 și C2, C3 – Consistența maximă în timpul fazei de gelatinizare a amidonului, C3-2 – Diferența dintre C3 și C2, C4 – Consistența minimă ce corespunde gelului fierbinte de amidon, C3-4 – Diferența dintre C3 și C4, C5 – Consistența maximă în timpul fazei de retrogradare a amidonului, C5-4 – Diferența dintre C5 și C4.

Valorile indicelui FN ale făinurilor compozit au fost cuprinse între 289 și 321 s. FN a fost influențat semnificativ ($p < 0,05$) de interacțiunea dintre doza de adaos și mărimea particulelor de AF și, de asemenea, de termenul pătratic al dozei de adaos a AF (figura 4.1a).

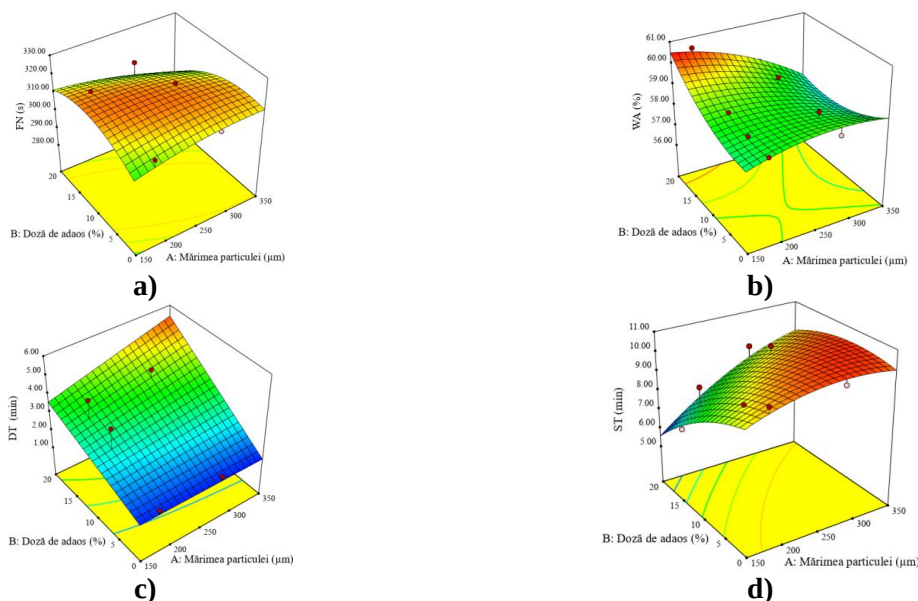


Figura 4.1. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: (a) indicelui Falling number (FN) și parametrilor Mixolab în timpul etapei de dezvoltare a aluatului: (b) capacitatea de hidratare a făinii compozit (WA), (c) timpul de dezvoltare a aluatului (DT), (d) stabilitatea aluatului (ST) (Coțovanu și colab., 2020a)

Proprietăților reologice ale aluatului la frământare

Graficul suprafeței de răspuns arată că odată cu creșterea interacțiunii dintre mărimea particulei și a dozei de adaos a AF în făina de grâu, capacitatea de absorbție a apei (WA) a scăzut (figura 4.1b). Creșterea dozei de adaos peste 10% a AF în făina de grâu a crescut brusc timpul de dezvoltare (DT) în funcție de mărimea particulei față de martor (figura 4.1c). Mărimea particulei a influențat pozitiv stabilitatea (ST), în timp ce doza de adaos a făinii de amarant în făina de grâu a influențat negativ acest parametru (figura 4.1d).

Înmuierea proteinelor

Mărimea particulelor, doza de adaos și interacțiunea dintre cei doi factori influențează semnificativ parametrul C2. Rezultatele au arătat o creștere a cuplului C2 pe măsură ce mărimea particulelor și interacțiunea dintre mărimea particulelor și doza de adaos au crescut (tabelul 4.1). Un efect negativ asupra cuplului C2 l-a avut doza de adaos, ce sugerează că doza crescută a făinii de amarant adăugată în făina de grâu a scăzut cuplul C2 (figura 4.2a).

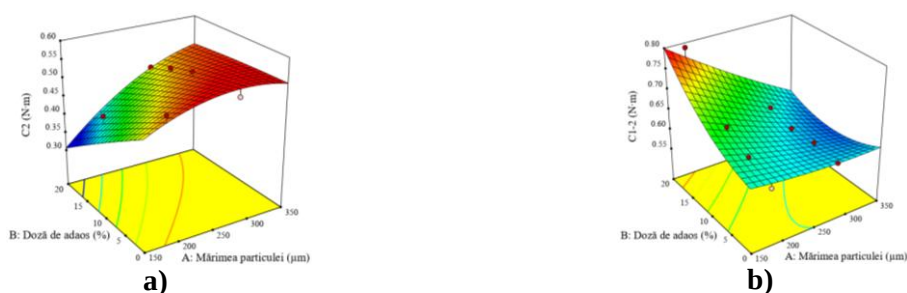


Figura 4.2. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de înmuiere a proteinelor: (a) cuplul C2, (b) diferența dintre cuplurile C1 și C2 (C1-2) (Coțovanu și colab., 2020a)

Rezultatele au arătat o creștere a C1-2 pe măsură ce doza a crescut, ceea ce indică o scădere a vitezei de slăbire a proteinelor sub efectul creșterii temperaturii. Odată cu creșterea mărimii particulelor, C1-2 scade.

Gelatinizarea amidonului

Cuplul C3 a scăzut treptat odată cu creșterea substituției făinii de grâu cu făină de amarant iar un adaos ridicat de făină de amarant (20%) în făina de grâu a condus la o valoare scăzută a cuplului C3 (1,32 N·m) care a fost obținută pentru mărimea mică a particulelor (figura 4.3a).

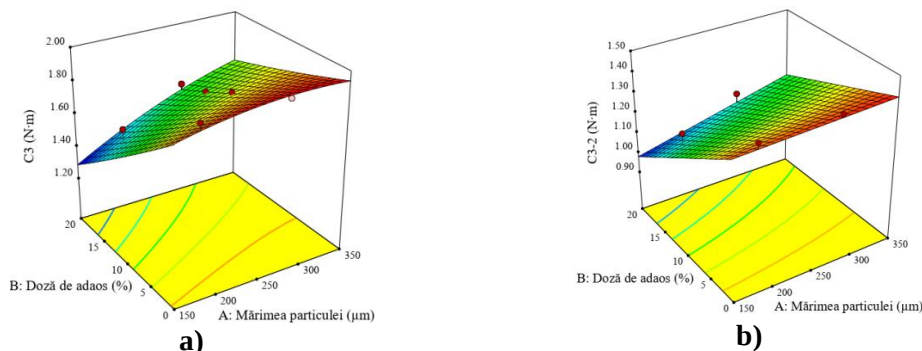


Figura 4.3. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: (a) cuplul C3, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C2 (C3-2) (Coțovanu și colab., 2020a)

Efectul mărimii particulelor și a dozei de adaos a AF în făina de grâu a indicat o creștere a C3-2 odată cu creșterea mărimii particulelor (figura 4.3b). Această variație se poate datora probabil efectului combinat al creșterii activității α -amilazei în făina compozit și compușilor care există în compoziția chimică a fracțiilor făinii de amarant. Procesul de hidroliză a amidonului, intensificat de o activitate ridicată a α -amilazei, va duce la o scădere a vâscozității (de Souza și Magalhães, 2010) și va crește cantitatea de apă liberă din aluat.

Stabilitatea gelului de amidon fierbinte

Pe măsură ce doza de AF a crescut și dimensiunea particulelor a scăzut, stabilitatea gelului format a scăzut (figura 4.4a). Încălzirea pastei la temperatură ridicată a avut ca rezultat scăderea vâscozității atribuită rezistenței pastei la dezintegrare dată de temperatura ridicată. Cea mai mică valoare a cuplului C4 (1,09 N·m) a fost obținută pentru mărimea particulelor mici la un nivel ridicat de AF (20%) adăugat în făina de grâu, în timp ce valoarea cea mai mare (1,783 N·m) a fost obținută pentru mărimea particulelor mari la un nivel scăzut de adaos (5%).

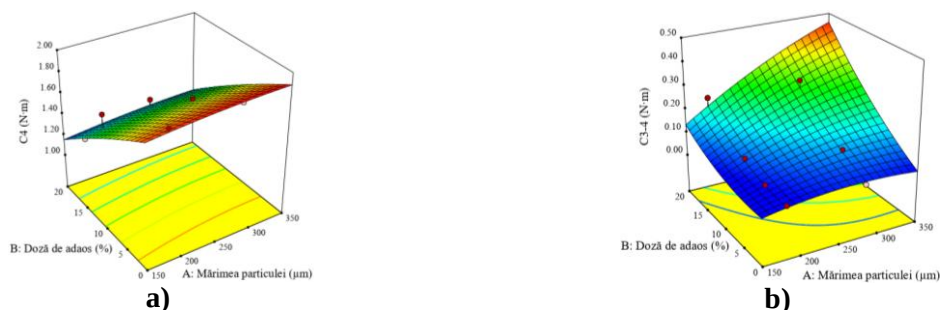


Figura 4.4. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: (a) cuplul C4, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C4 (C3-4) (Coțovanu și colab., 2020a)

Efectul factorilor de formulare asupra C3-4 este prezentat în figura 4.4b și evidențiază capacitatea mărimii particulelor și a dozei făinii de amarant de a crește C3-4.

Retrogradarea amidonului

Graficul suprafeței de răspuns pentru cuplul C5 a arătat că odată cu creșterea dozei de AF în făina de grâu, cuplul C5 s-a diminuat (figura 4.5a), ceea ce indică retrogradarea și recristalizarea redusă a amidonului.

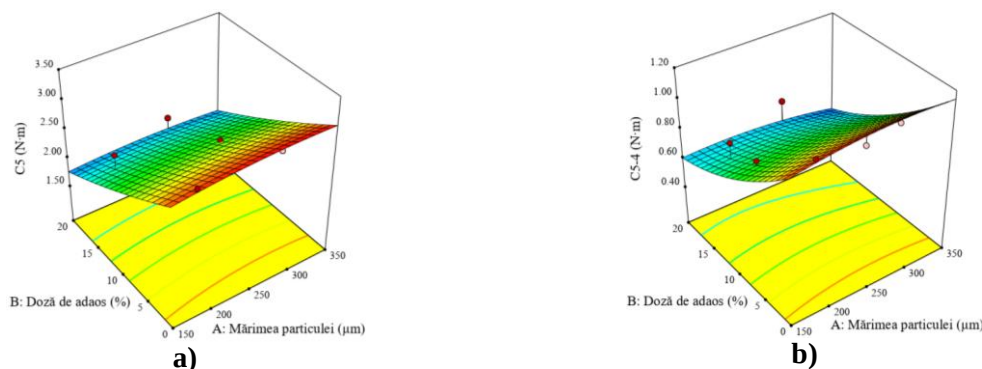


Figura 4.5. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de retrogradare a amidonului: (a) cuplul C5, (b) diferența dintre cuplurile C5 și C4 (C5-4) (Coțovanu și colab., 2020a)

Efectul adaosului făinii de amarant în făina de grâu și a mărimii particulelor asupra C5-4 este prezentat în figura 4.5b. Graficul suprafeței de răspuns arată că cea mai mică valoare pentru C5-4 se obține la un nivel maxim de adaos a particulelor de mărime mică.

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

Variația parametrilor alveografici ai aluatului în funcție de mărimea particulei și doza de adaos a AF în făina de grâu poate fi prezisă de modelul matematic de tip pătratic (tabelul 4.2). Modelele pătratice obținute pentru parametrii alveografici determinați au fost semnificative ($p < 0,05$) și au explicat între 69 și 96% din variația datelor.

Tabelul 4.2. Coeficienții de regresie ai modelului pătratic pentru parametrii alveografici ai aluatului (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Factori	Parametri			
	P (mm H ₂ O)	L (mm)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L (adim.)
Constant	95,77	48,53	160,70	1,97
A	-6,94	1,98	6,08	-0,17
B	9,62**	-28,55**	-50,94**	1,38**
A x B	-4,50	2,50	-5,30	-0,44
A ²	2,40	-2,30	-5,30	0,08
B ²	1,33	13,43**	33,90*	0,29
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,69	0,96	0,95	0,97
Adj.-R ²	0,52	0,93	0,76	0,79
p	0,0352	< 0,0001	0,0018	0,0011

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de amarant în făina albă de grâu (%), R², Adj.-R² – gradul de potrivire al modelului, P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; W – energia de deformare; P/L – raport alveografic.

Creșterea adaosului a determinat creșterea tenacității aluatului (P) în toate probele de aluat cu făină compozit, în comparație cu aluatul martor (figura 4.6a), cu excepția aluatului cu adaos de 5% AF cu particule mici, unde P a prezentat valoare mai mică față de proba martor.

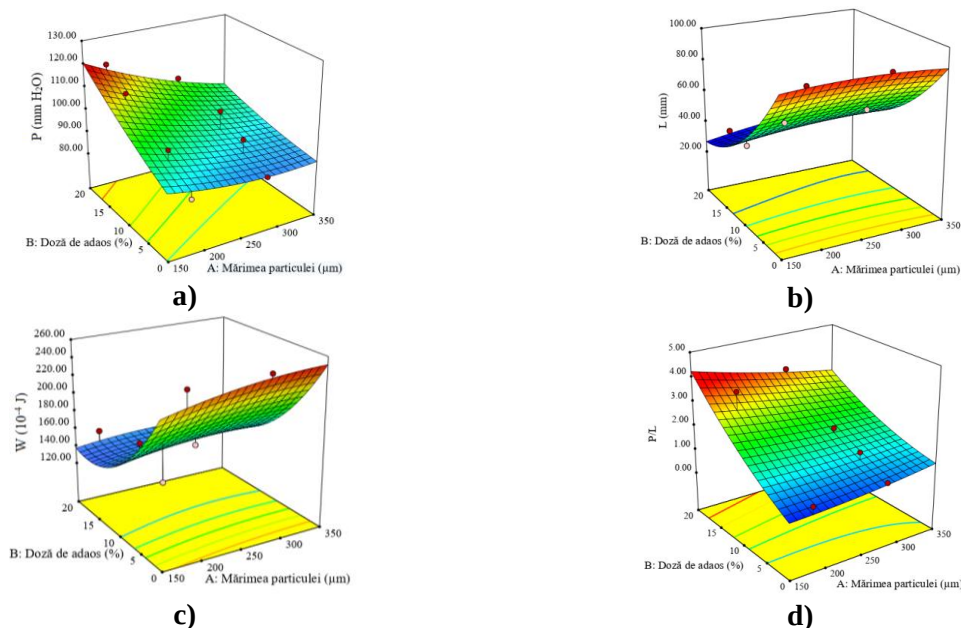


Figura 4.6. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectele combinate a mărimii particulelor făinii de amarant și dozele adăugate în făina rafinată de grâu asupra: a) tenacității aluatului (P) și b) extensibilității aluatului (L), c) energiei de deformare (W) și d) raportului alveografic P/L (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Se poate observa o scădere a extensibilității aluatului (L) atunci când cantitatea și mărimea particulelor făinii de amarant cresc, în comparație cu aluatul martor (figura 4.6b). Doza de adaos a AF a avut o influență semnificativă ($p < 0,01$) asupra energiei de deformare (W), ce a scăzut rezistența aluatului (figura 4.6c). Adaosul făinii de amarant în aluatul de făină de grâu a determinat o creștere substanțială a raportului P/L (figura 4.6d).

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu asupra comportării la fermentare a aluatului

Modelele matematice de tip pătratic și 2FI au prezis cu acuratețe ($p < 0,01$) variația proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării, și au prezentat valori ridicate ale coeficientului de determinare ($R^2 = 0,70 - 0,95$) (tabelul 4.3).

Tabelul 4.3. Coeficienții de regresie ai modelelor matematice pentru parametrii de fermentare ai aluatului (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Factori	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constant	73,61	1268,45	1180,97	91,53
A	0,26	35,40	16,96	-0,40
B	6,30**	84,58**	89,36**	1,20
A x B	1,40	29,40	8,90	-1,15
A ²	0,44	-	-14,10	-0,99
B ²	-4,53	-	-76,57**	-4,36**
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,90	0,70	0,97	0,90
Adj.-R ²	0,68	0,62	0,90	0,69
p	0,0062	0,0032	0,0009	0,0054

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de amarant în făina albă de grâu (%), R^2 , Adj.- R^2 – gradul de potrivire a modelului, H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze format în aluat; VR – volumul de gaze reținut de aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat.

Înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'm) crește considerabil odată cu creșterea dozei de adaos a AF (figura 4.7a), în timp ce mărimea particulei a prezentat un efect nesemnificativ ($p > 0,05$) asupra acestui parametru (tabelul 4.3).

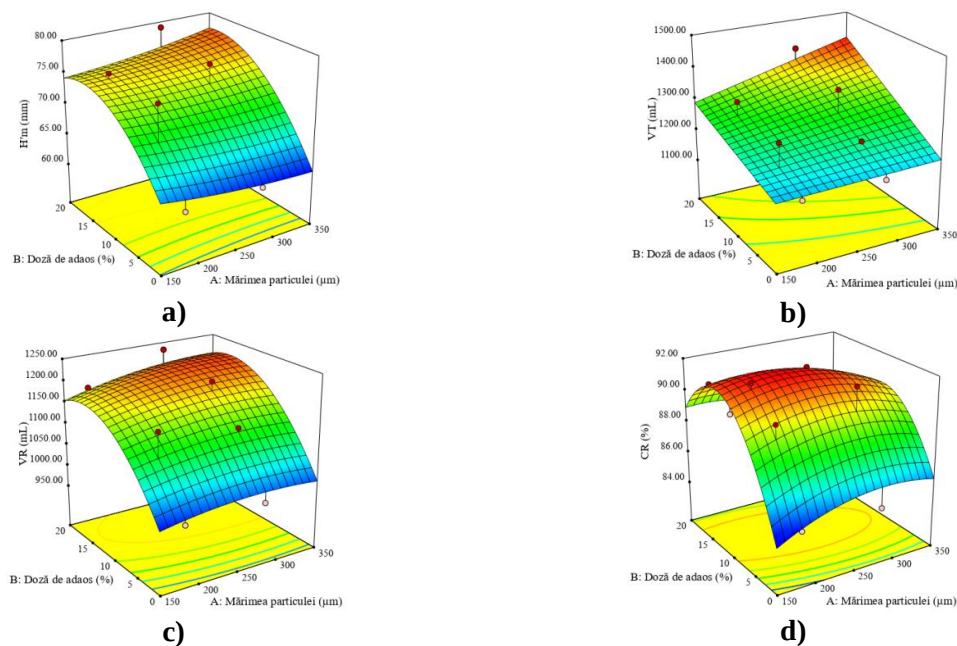


Figura 4.7. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) înălțimii maxime a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'_m), b) volumului total de gaze format în aluat (VT), c) volumului de gaze reținut de aluat (VR), d) coeficientului de reținere a gazelor în aluat (CR) (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Volumul total de gaze format în aluat (VT) a înregistrat o creștere semnificativă ($p < 0,01$) atunci când doza de adaos a AF a crescut, în timp ce mărimea particulei a prezentat un efect nesemnificativ ($p > 0,05$) (figura 4.7b). Volumul de gaze reținut de aluat (VR) a fost influențat semnificativ ($p < 0,01$) de doza de adaos, creșterea dozei de adaos a determinat o scădere a VR (figura 4.7c). Scăderea CR cu creșterea dozei de adaos (figura 4.7d) indică o rețea glutenică care nu este suficient de puternică pentru a reține gazul produs prin fermentare.

Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

Variația parametrilor reologici dinamici ai aluatului, la frecvența de 1 Hz, în funcție de mărimea particulei de AF, doza de adaos în făina rafinată de grâu și efectul combinat al celor doi factori a fost prezisă cu acuratețe de modele matematice pătratice sau 2 FI (tabelul 4.4).

Tabelul 4.4. Coeficienții de regresie ai modelelor matematice pentru parametrii reologici dinamici ai aluatului (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Factori	Parametri					
	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$ (adim.)	T_{max} (°C)	J_{cmax} ($10^{-5} Pa^{-1}$)	J_{rmax} ($10^{-5} Pa^{-1}$)
Constant	28093,97	10500,65	0,3476	79,32	20,27	13,40
A	3939,00	1632,50**	0,014	-0,14	-7,52**	-4,42**
B	8848,23**	1463,54*	-0,037**	-1,74**	-1,46	-0,97
A x B	2667,00	1837,65*	0,021	-0,57	-1,71	-1,59
A^2	-1172,50	-	-0,002	0,52	3,68	1,77
B^2	965571**	-	-0,027	1,67*	2,14	1,70
<i>Evaluarea modelului</i>						
R^2	0,91	0,71	0,72	0,95	0,66	0,71
$Adj.-R^2$	0,71	0,64	0,57	0,77	0,47	0,55
p	0,0041	0,005	0,0221	0,0015	0,0492	0,0268

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu (%), R^2 , $Adj.-R^2$ – gradul de potrivire al modelului, G' – modul de elasticitate; G'' – modul de vâscozitate; $\tan \delta$ - factor de vâscozitate; T_{max} – temperatura maximă de gelatinizare; J_{cmax} – complianța maximă la fluaj; J_{rmax} – complianța maximă la revenire.

Atât modulul de elasticitate (G') cât și cel de vâscozitate (G'') au crescut substanțial odată cu creșterea dozei de adaos (figura 4.8a, b).

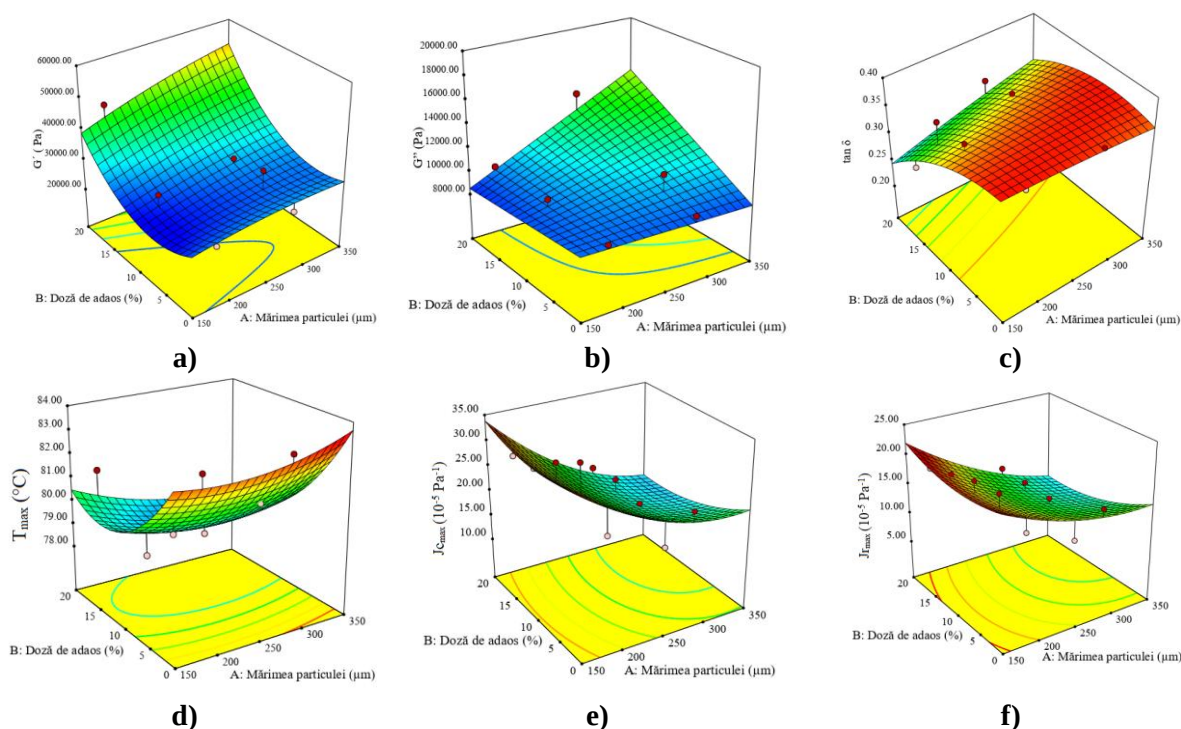


Figura 4.8. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat a mărimii particulei făinii de amarant și a dozei adăugate în făina rafinată de grâu asupra: a) modulelor de elasticitate (G') și b) vâscozitate (G'') ale aluatului, c) factorului de vâscozitate ($\tan \delta$), d) temperaturii maxime de gelatinizare ($T_{\max}$), e) complianței maxime la fluaj ($J_{c\max}$) și respectiv, f) la revenire ($J_{r\max}$) (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Factorul de vâscozitate ($\tan \delta$) a scăzut semnificativ odată cu creșterea dozei de adaos (figura 4.8c). Temperatura maximă de gelatinizare ($T_{\max}$) a scăzut substanțial odată cu creșterea dozei de adaos a AF în făina rafinată de grâu (figura 4.8d). Doza de substituție de până la 10% a făinii de grâu cu AF a influențat considerabil $T_{\max}$. Creșterea dimensiunii particulei a determinat o scădere semnificativă ($p < 0,01$) a complianței maxime în faza de fluaj ($J_{c\max}$) și de revenire ($J_{r\max}$) (figura 4.9 e, f).

Influența mărimii particulei făinii de amarant și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra texturii aluatului

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu asupra variației parametrilor de textură ai aluatului compozit este prezentată în figura 4.9.

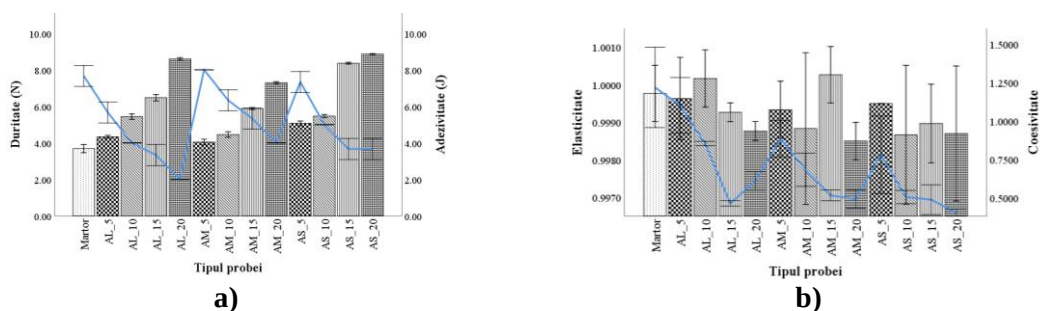


Figura 4.9. Efectul dimensiunii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant asupra parametrilor de textură ai aluatului: a) duritate și adezivitate și b) elasticitate și coezivitate (Coțovanu și Mironeasa, 2021b)

Dimensiunea mare a particulelor de AF, la doze de adaos de 15 și 20% în făina de grâu, a crescut substanțial duritatea aluatului. Creșterea dozei de adaos și scăderea dimensiunii particulelor a determinat scăderea coezivității aluatului.

Capitolul 5 - "Cercetări privind influența adaosului făinii de quinoa în diferite doze și mărimi de particule asupra calității făinii rafinate de grâu și reologiei aluatului" prezintă evaluarea efectului mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii, precum și asupra parametrilor reologici și de textură ai aluatului.

Influența adaosului făinii de quinoa în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

Făinurile compozit au prezentat un conținut mai ridicat de substanțe nutritive, proteine, lipide și minerale, în timp ce conținutul de carbohidrați a fost mai mic în comparație cu cel al probei martor. Luminozitatea (L^*) făinurilor compozit a scăzut odată cu creșterea adaosului făinii de quinoa, însă în ceea ce privește mărimea particulei, cea mai închisă la culoare a fost făina compozit în care s-a adăugat făina de quinoa (QF) de mărime medie a particulelor. Particulele de mărime mare ale QF au determinat creșterea luminozității în făina compozit.

Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

Predicția variației proprietăților reologice ale aluatului, determinate prin metode empirice și dinamice, în funcție de mărimea particulei făinii de quinoa și doza de adaos în făina de grâu a fost estimată de modelele matematice obținute la modelarea datelor experimentale. Rezultatele analizei de varianță pentru modelele predictive sunt prezentate în tabelele 5.1, 5.2, 5.3 și 5.4.

Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Activitatea α -amilazei a făinurilor compozit, a arătat că valorile FN variază de la 277 la 347 s. Mărimea particulelor de QFa influențat considerabil FN într-un mod negativ ($p < 0,05$) și a determinat astfel o creștere a indicelui FN. Interacțiunea dintre cei doi factori, mărimea particulei și doza de adaos a determinat scăderea FN (tabelul 5.1).

Tabelul 5.1. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru FN și caracteristicile Mixolab (Coțovanu și colab., 2020b)

Factori	Parametri											
	FN (s)	WA (%)	DT (min)	ST (min)	C2 (N·m)	C1-2 (N·m)	C3 (N·m)	C3-2 (N·m)	C4 (N·m)	C3-4 (N·m)	C5 (N·m)	C5-4 (N·m)
Constant	307,99	58,06	1,92	9,96	0,49	0,59	1,96	1,32	1,67	0,18	2,54	0,97
A	-15,65**	-0,46**	-0,29	0,16	0,01**	-0,01*	0,03**	0,02**	0,01	0,03**	0,05*	0,04**
B	-4,53	0,32*	2,05*	0,48**	-0,02**	0,02**	-0,10**	-0,08**	-0,23**	0,12**	-0,46**	-0,22**
A x B	-11,95**	-0,24	-0,002	-0,04	0,01	-0,01	0,02*	0,01*	0,01	0,03**	0,02	0,04*
A ²	9,25*	0,10	1,33	-0,12	-0,01	0,01	-0,02	-0,01*	-0,37	0,01	-0,07*	-0,04
B ²	-8,38	0,90	0,78	-0,38	0,02	0,03*	-0,01	-0,02*	0,01	-0,01	0,07	0,06*
<i>Evaluarea modelului</i>												
R ²	0,99	0,79	0,71	0,69	0,93	0,78	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
Adj.-R ²	0,93	0,67	0,55	0,46	0,73	0,66	0,94	0,97	0,97	0,96	0,97	0,95
p	0,0004	0,0074	0,0269	0,0213	0,0031	0,0080	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de quinoa în făina albă de grâu (%), R² – coeficient de determinare, Adj.-R² – coeficient de determinare ajustat, FN – Falling number, WA – Capacitatea de hidratare a apei, DT – Timp de dezvoltare, ST – Stabilitate aluat, C2 – Consistența minimă în timpul fazei de denaturare a proteinelor, C1-2 – Diferența dintre C1 și C2, C3 – Consistența maximă în timpul fazei de gelatinizare a amidonului, C3-2 – Diferența dintre C3 și C2, C4 – Consistența minimă ce corespunde gelului fierbinte de amidon, C3-4 – Diferența dintre C3 și C4, C5 – Consistența maximă în timpul fazei de retrogradare a amidonului, C5-4 – Diferența dintre C5 și C4.

Valorile indicelui FN au scăzut odată ce a crescut mărimea particulelor și doza de adaos a QF (figura 5.1a).

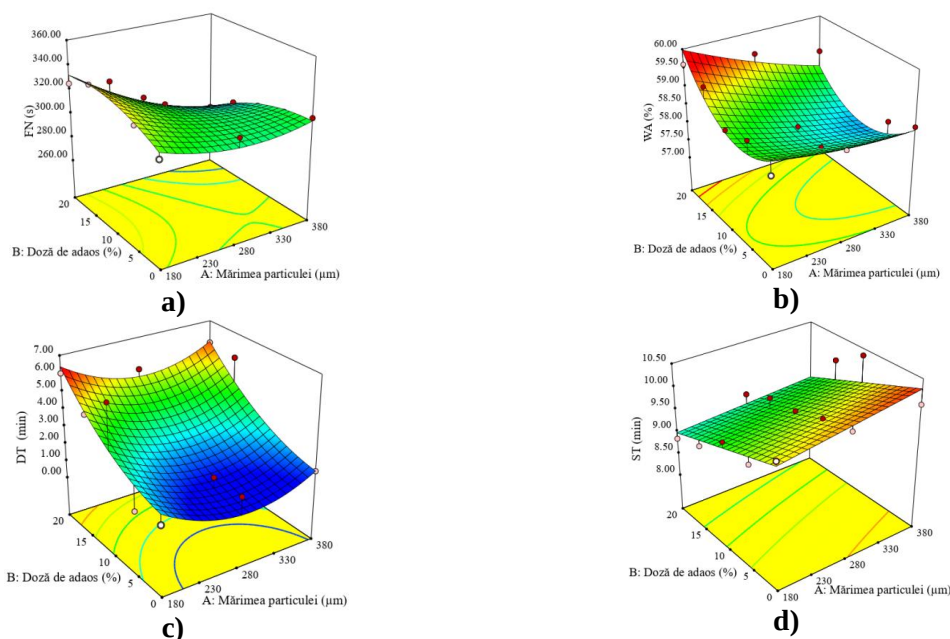


Figura 5.1. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: (a) indicelui Falling number (FN) și parametrilor Mixolab în timpul etapei de dezvoltare a aluatului: (b) capacitatea de hidratare a făinii compozit (WA), (c) timpul de dezvoltare a aluatului (DT), (d) stabilitatea aluatului (ST) (Coțovanu și colab., 2020b)

Proprietăților reologice ale aluatului la frământare

Capacitatea de hidratare a variat între 57,3 și 59,6%. Dimensiunea particulelor și interacțiunea dintre factori au influențat negativ WA, iar creșterea dozei de adaos a QF în făina de grâu (figura 5.1b), a crescut WA. Timpul de dezvoltare (DT) al aluatului a fost semnificativ influențat ($p < 0,05$) de doza QF adăugată în făina de grâu, în timp ce mărimea particulelor a influențat nesemnificativ ($p > 0,05$) DT, care a variat între 1,28 și 6,13 min. Graficul suprafeței de răspuns (figura 5.1c) arată că DT a crescut odată cu creșterea dozei, în funcție de mărimea particulelor. Creșterea dozei de adaos a QF a scăzut remarcabil ST (figura 5.1d).

Înmuierea proteinelor

Mărimea particulelor de QF și doza de adaos în făina rafinată de grâu au avut un efect remarcabil asupra C2, și au prezentat o creștere a C2 pe măsură ce mărimea particulelor a crescut și o scădere a C2 în timp ce adaosul de QF a crescut (figura 5.2a).



Figura 5.2. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de înmuiere a proteinelor: (a) cuplul C2, (b) diferența dintre cuplurile C1 și C2 (C1-2) (Coțovanu și colab., 2020b)

Odată cu creșterea dozei de adaos a QF, cuplul C1-2 a crescut, dar creșterea mărimii particulelor a determinat o scădere a C1-2 (figura 5.3a).

Gelatinizarea amidonului

Cuplul C3 a scăzut treptat, odată cu creșterea cantității de QF în făina de grâu, iar la un adaos de 20% QF cu particulele de mărime mică a scăzut cuplul C3 (1,67 N·m) (figura 5.3a).

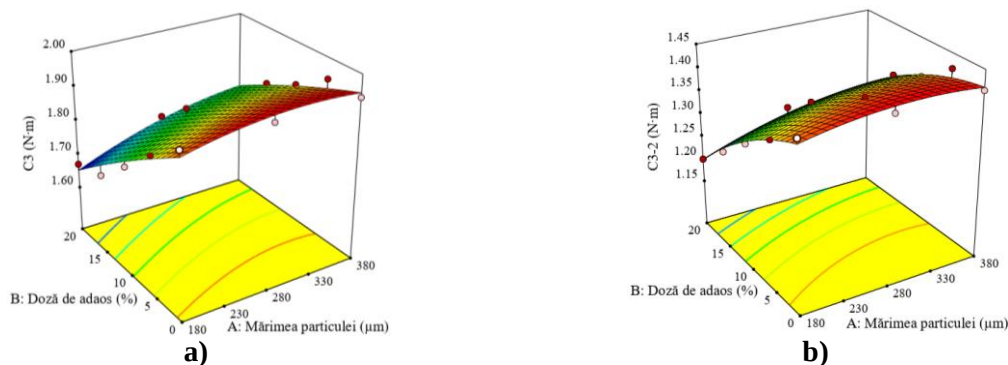


Figura 5.3. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei și al dozei de adaos a făinii de quinoa în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: a) cuplul C3, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C2 (C3-2) (Coțovanu și colab., 2020b)

Efectul mărimii particulelor și al dozei de QF adăugate în făina de grâu a indicat o creștere a C3-2 odată cu creșterea dimensiunii particulelor și cu micșorarea adaosului de QF (figura 5.3b).

Stabilitatea gelului de amidon fierbinte

Stabilitatea gelului de amidon format la cald este reprezentată de cuplul C4, care a prezentat o scădere semnificativă ($p < 0,0001$) odată cu creșterea dozei de adaos a QF (tabelul 5.1) și o scădere nesemnificativă a avut loc cu reducerea mărimii particulelor (figura 5.4a).

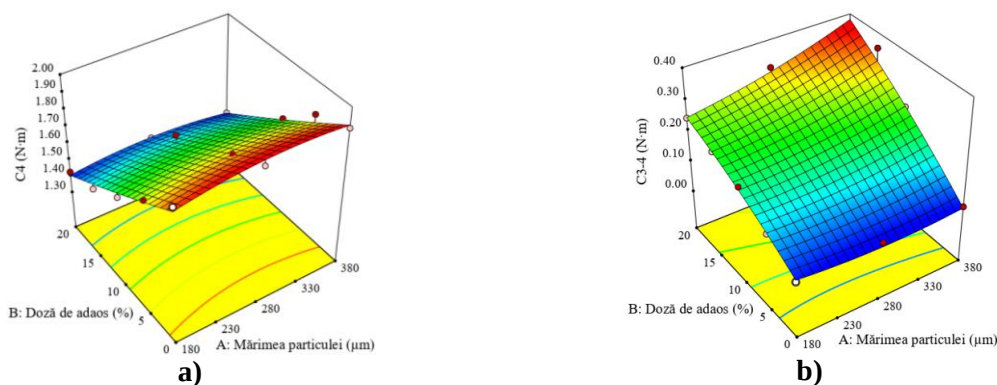


Figura 5.4. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: (a) cuplul C4, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C4 (C3-4) (Coțovanu și colab., 2020b)

Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei și al adaosului de QF în făina de grâu asupra C3-4 a indicat că pe măsură ce mărimea particulelor și doza de QF au crescut în probe, C3-4 a crescut (figura 5.4b).

Retrogradarea amidonului

Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulelor și al dozei de QF adăugată în făina de grâu asupra C5 a evidențiat că pe măsură ce doza de QF a crescut și mărimea particulelor a scăzut, cuplul C5 a scăzut (figura 5.5a).

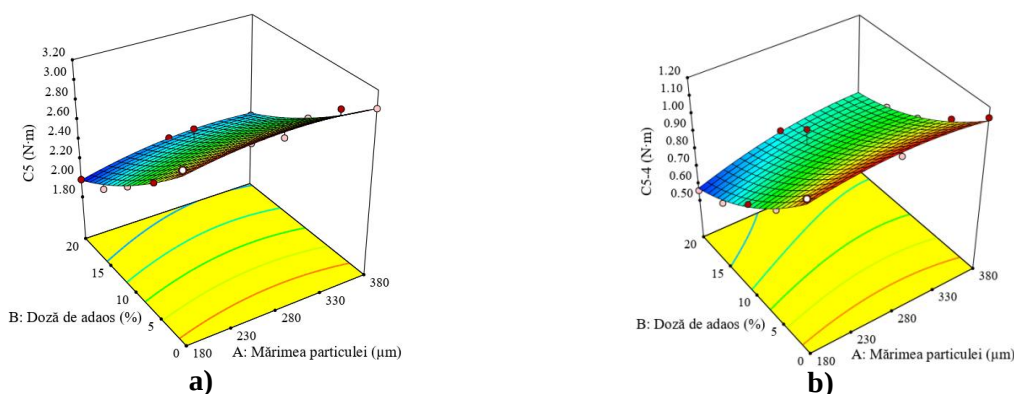


Figura 5.5. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de retrogradare a amidonului: (a) cuplul C5, (b) diferența dintre cuplurile C5 și C4 (C5-4) (Coțovanu și colab., 2020b)

Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al factorilor asupra C5-4 a evidențiat că pe măsură ce mărimea particulelor a scăzut și adaosul de QF a crescut, C5-4 a scăzut, cea mai mică valoare (0,56 N·m) fiind atinsă la adaosul de 20% QF cu mărime mică a particulelor (figura 5.5b).

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de quinoa în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

Variația parametrilor alveografici ai aluatului în funcție de mărimea particulei și doza de adaos a făinii de quinoa în făina de grâu a fost prezisă adecvat de modelul pătratic, semnificativ la un nivel de semnificație $p < 0,01$. Rezultatele analizei de varianță arată că modelele matematice obținute pentru caracteristicile de întindere biaxială ale aluatului au explicat între 79 și 98% din variația datelor (tabelul 5.2).

Tabelul 5.2. Coeficienții de regresie ai modelului pătratic pentru parametrii alveografici ai făinii compozit grâu-quinoa, în funcție de doza de adaos și mărimea particulei

Factori	Parametri			
	P (mm H ₂ O)	L (mm)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L (adim.)
Constant	109,07	35,18	13,54	171,43
A	4,20	-3,90	-0,79	-3,20
B	7,07*	-27,20**	-3,99**	-50,13**
A x B	7,70*	-0,30	-0,22	7,20
A ²	-9,20*	6,90	0,99	-3,40
B ²	-9,33*	23,24**	2,95**	25,14**
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,79	0,93	0,93	0,98
Adj.-R ²	0,67	0,99	0,99	0,91
p	0,0076	<0,0001	<0,0001	0,0006

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de quinoa în făina albă de grâu (%), R², Adj.-R² – gradul de potrivire a modelului, P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; W – energia de deformare; P/L – raport alveografic.

Creșterea dozei de adaos a determinat creșterea tenacității și scăderea elasticității aluatului, variații care au fost remarcabile (figura 5.6a, b). Doza de adaos a avut un efect nesemnificativ ($p > 0,05$) asupra tenacității și extensibilității. O scădere a energiei de deformare (W) a fost observată când adaosul de făină de quinoa a crescut (figura 5.6c), probabil datorită înlocuirii făinii de grâu cu o făină non-gluten, care va conduce la diluția rețelei glutenice, cu o scădere a cantității și calității acesteia, în timp ce mărimea particulei a influențat nesemnificativ ($p > 0,05$) parametrul W.

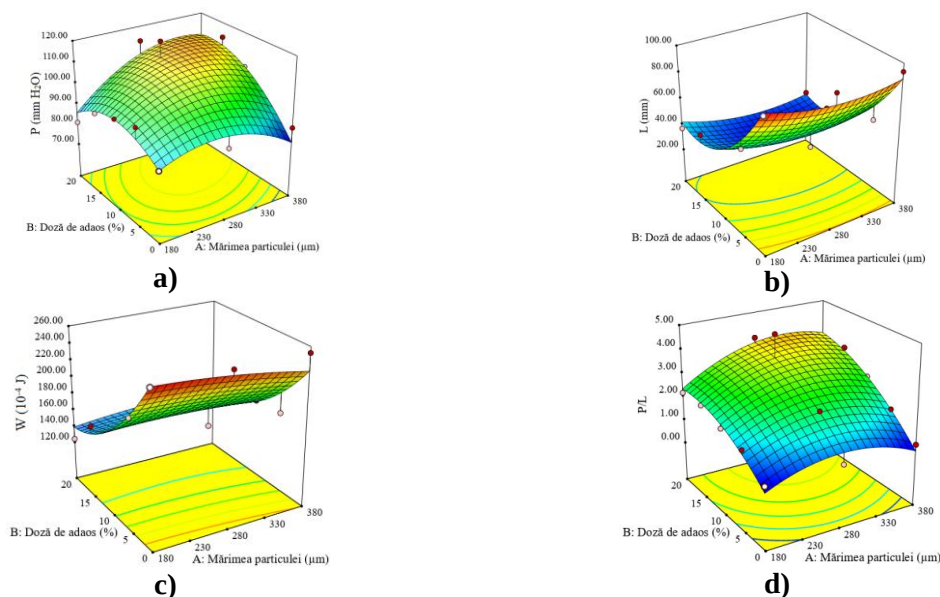


Figura 5.6. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) tenacității, b) extensibilității, c) energiei de deformare a aluatului (W), d) raportului alveografic (P/L)

Odată cu creșterea mărimii particulei și a adaosului făinii de quinoa, tenacitatea și extensibilitatea aluatului au scăzut, ceea ce a determinat o creștere a raportului alveografic P/L, de la 0,92 la 4,53 (figura 5.6d).

Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra comportării la fermentare a aluatului

Modelul de regresie pătratic și modelul 2 FI au fost modele potrivite pentru a prezice variația parametrilor la fermentare a aluatului în funcție de mărimea particulei făinii de quinoa și doza de adaos și au explicat între 50 și 98% din variația datelor (tabelul 5.3).

Tabel 5.3. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive pentru parametrii de fermentare ai aluatului

Factori	Parametri			
	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constant	65,50	1216,65	1040,36	86,96
A	-0,48	2,90	19,60*	-0,93*
B	2,10**	-4,47	28,20**	1,25*
A x B	0,04	13,10	20,30	-
A ²	0,14	37,90*	38,40**	-
B ²	-1,65	-80,10**	-51,52**	-
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,71	0,91	0,97	0,50
Adj.-R ²	0,54	0,71	0,90	0,41
p	0,0279	0,0043	0,0010	0,0169

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de quinoa în făina albă de grâu (%), R^2 , Adj.- R^2 – gradul de potrivire a modelului, H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze format în aluat; VR – volumul de gaze reținut de aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat.

Efectul factorilor de formulare asupra formării și reținerii gazelor (H'm) a indicat creșterea acestui parametru odată cu creșterea dozei de adaos (figura 5.7a), în timp ce mărimea particulei a influențat nesemnificativ ($p > 0,05$) parametrul H'm. Volumul total de gaze format în aluat (VT) a fost influențat semnificativ ($p < 0,05$) pozitiv de termenul pătratic al mărimii particulei și negativ de termenul pătratic al dozei de adaos a QF.

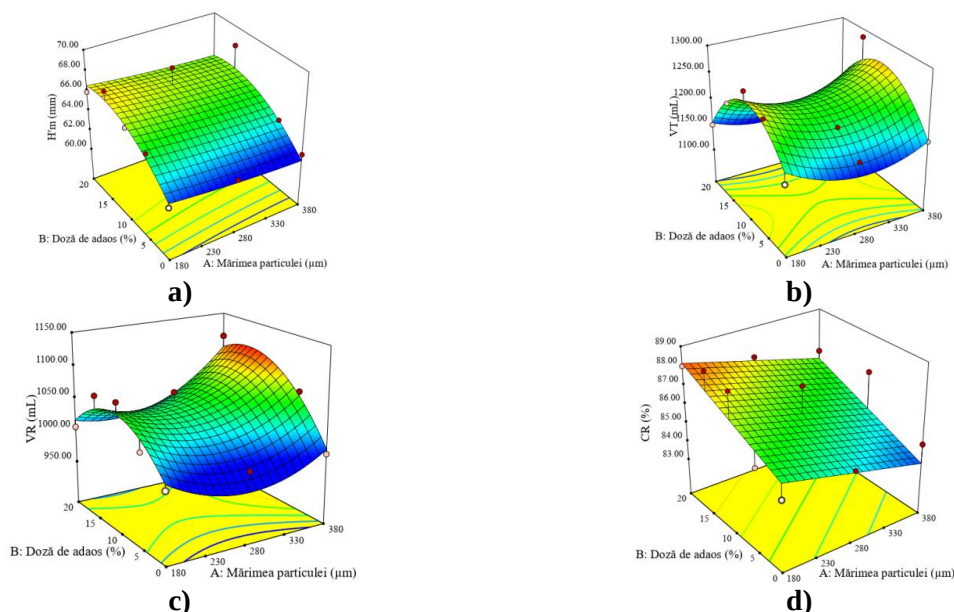


Figura 5.7. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combine al mărimii particulei făinii de quinoa și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) înălțimii maxime a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'_m), b) volumului total de gaze format în aluat (VT), c) volumului de gaze reținut de aluat (VR), d) coeficientul de reținere a gazelor în aluat (CR)

Volumul de gaze reținut de aluat (VR) a fost considerabil îmbunătățit de doza de adaos. Creșterea dozei de adaos și a mărimii particulei de QF au determinat creșterea VR (figura 5.7c). Coeficientul de reținere a gazelor în aluat (CR) a scăzut considerabil atunci când mărimea particulei crește, dar a crescut odată cu creșterea dozei de adaos a QF (figura 5.7d).

Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

Variația parametrilor reologici dinamici ai aluatului în funcție de mărimea particulei făinii de quinoa, doza de adaos în făina rafinată de grâu și efectul combinat al celor doi factori, la frecvența de 1 Hz, a fost prezisă cu acuratețe de modele matematice, semnificative ($p < 0,05$), care au explicat între 52 și 99% din variația datelor (tabelul 5.4).

Tabelul 5.4. Coeficienții de regresie ai modelelor matematice pentru parametrii reologici dinamici ai aluatului

Factori	Parametri					
	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$ (adim.)	$T_{\max}$ (°C)	$J_{c_{\max}}$ (10^{-5} Pa^{-1})	$J_{r_{\max}}$ (10^{-5} Pa^{-1})
Constant	47885,10	13794,50	0,333	78,78	17,40	12,47
A	4859,00	1626,15	0,0025	-0,16	-3,93**	-1,75*
B	12022,67*	2889,90*	-0,0255**	-1,61**	-4,98**	-3,57**
A x B	807,00	316,50	0,0051	0,527	-0,37	0,32
A^2	-5550,00	-	-0,0074	0,101	2,74	0,99
B^2	-3456,19	-	0,0021	2,29**	0,18	0,24
<i>Evaluarea modelului</i>						
R^2	0,68	0,52	0,99	0,77	0,74	0,78
$Adj.-R^2$	0,50	0,39	0,93	0,65	0,60	0,66
p	0,0405	0,0374	0,0005	0,0098	0,0171	0,0088

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de quinoa în făina albă de grâu (%), R^2 , $Adj.-R^2$ – gradul de potrivire a modelului, G' – modul de elasticitate; G'' – modul de vâscozitate; $\tan \delta$ – factorul de vâscozitate; $T_{\max}$ – temperatura maximă de gelatinizare; $J_{c_{\max}}$ – complianța maximă la fluaj; $J_{r_{\max}}$ – complianța maximă la revenire.

Creșterea dozei de adaos a determinat creșterea valorilor modulelor G' și G'' (figura 5.8a, b), iar factorul de vâscozitate ($\tan \delta$) a avut un trend opus (figura 5.8c).

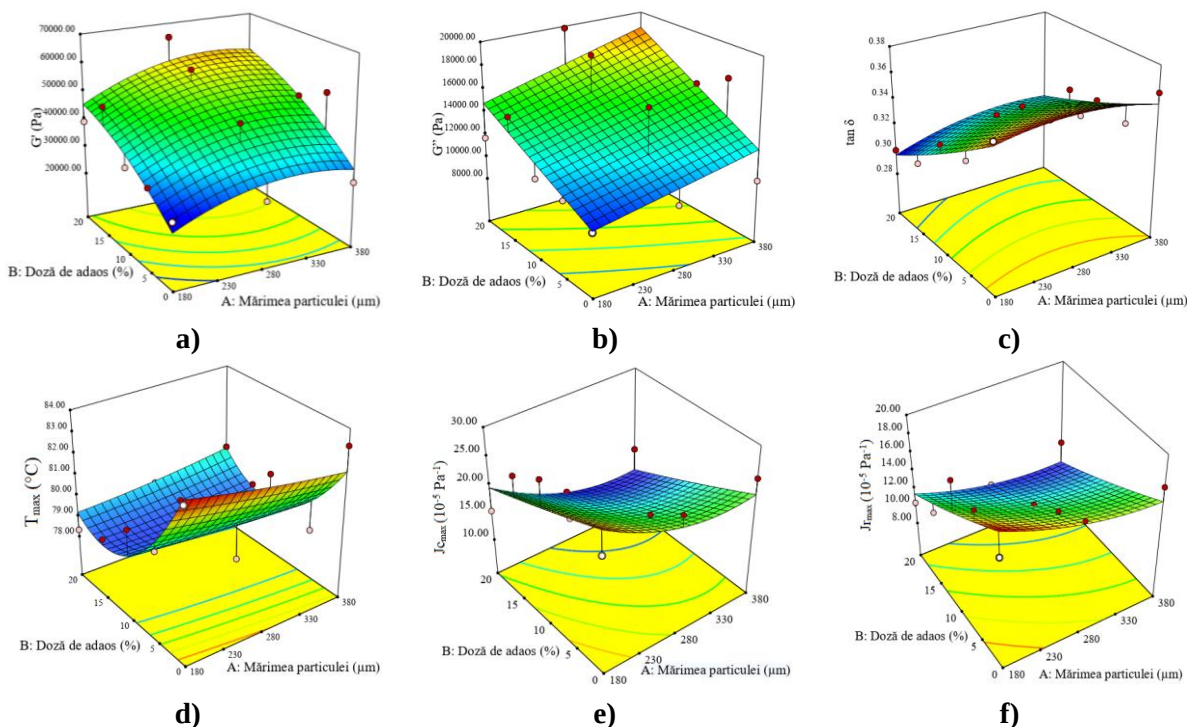


Figura 5.8. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat a mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei adăugate în făina rafinată de grâu asupra: a) modulelor de elasticitate (G') și b) vâscozitate (G'') ale aluatului, c) factorului de vâscozitate ($\tan \delta$), d) temperaturii maxime de gelatinizare (T_{max}), e) complianței maxime la fluaj ($J_{c_{\text{max}}}$) și respectiv, f) la revenire ($J_{r_{\text{max}}}$)

Temperatura maximă de gelatinizare (T_{max}) a fost influențată semnificativ ($p < 0,01$) de doza de adaos, care a determinat o scădere a T_{max} atunci când doza de adaos a QF în făina rafinată de grâu a crescut (figura 5.8d). Complianțele maxime în faza de fluaj ($J_{c_{\text{max}}}$) și de revenire ($J_{r_{\text{max}}}$) au fost influențate considerabil de mărimea particulei și de doza de adaos a QF în făina rafinată de grâu, parametrii $J_{c_{\text{max}}}$ și $J_{r_{\text{max}}}$ au scăzut odată cu creșterea dozei de adaos (figura 5.8e, f).

Influența mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos în făina de grâu asupra texturii aluatului

Efectul mărimii particulei și al dozei de adaos a QF asupra parametrilor de textură ai aluatului este prezentat în figura 5.9.

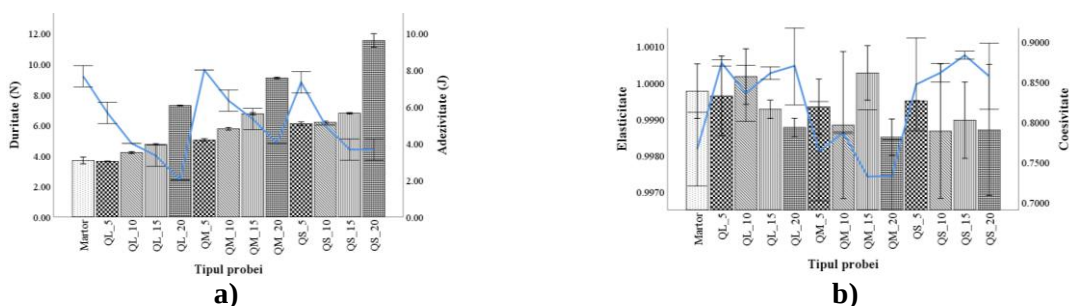


Figura 5.9. Efectul dimensiunii particulei și a dozei de adaos a făinii de quinoa asupra parametrilor de textură ai aluatului: a) duritate și adezivitate, b) elasticitate și coezivitate (Coțovanu și colab., 2021)

S-a observat o creștere a durității aluatului atunci când doza de adaos a crescut și mărimea particulei a scăzut. Adezivitatea a scăzut atunci când a crescut doza de adaos de QF. Elasticitatea a prezentat o scădere în comparație cu proba martor, cu excepția probelor QL_10 și QM_15 care au prezentat valori mai mari. Valorile coezivității aluatului au scăzut, în special la probele formulate cu particule de mărime medie ale QF, valori ce au fost mai mici decât la proba martor.

Capitolul 6 - "Cercetări privind influența adaosului făinii de hrișcă în diferite doze și mărimi de particule asupra calității făinii rafinate de grâu și reologiei aluatului" prezintă investigarea modului în care făina de hrișcă, la anumite dimensiuni ale particulelor și diferite doze de adaos influențează activitatea α -amilazei a făinii compozit grâu-hrișcă, comportamentul aluatului în timpul frământării, etapei de încălzire-răcire, întinderii biaxiale, fermentării, testării oscilatorii și la fluaj-revenire.

Influența adaosului făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii compozit formulate

Rezultatele au evidențiat faptul că dimensiunea particulelor făinii de hrișcă (HF) și doza de adaos în făina de grâu au determinat modificări remarcabile în compoziția chimică a făinii compozit. S-a îmbunătățit conținutul de proteine la făina cu particule de dimensiune medie, iar conținutul de lipide și cenușă a crescut cu creșterea dozei pentru toate fracțiunile de HF.

Particulele făinii de hrișcă au scăzut luminozitatea (L^*) în toate probele, odată cu creșterea dozei de adaos și scăderea mărimii particulei. Valorile parametrilor a^* și b^* au prezentat diferențe semnificative ($p < 0,001$) între probe și s-a observat o creștere a acestor valori odată cu creșterea dozei de adaos și a mărimii particulei.

Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra reologiei și texturii aluatului

Cercetările menționate în acest capitol au avut scopul de a determina influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra comportamentului reologic și parametrilor mecanici de textură ai aluatului. Rezultatele analizei de varianță pentru modelele predictive obținute pentru prezicerea variației proprietăților reologice în funcție de mărimea particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu sunt prezentate în tabelele 6.1, 6.2, 6.3 și 6.4.

Determinarea activității α -amilazei și a proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Activitatea α -amilazei a făinurilor compozit, a fost influențată în mod negativ de mărimea particulelor de HF. Interacțiunea dintre cei doi factori, mărimea particulei și doza de adaos a determinat scăderea indicelui FN (tabelul 6.1).

Tabel 6.1. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru indicele FN și caracteristicile Mixolab ale aluatului din făină de grâu-hrișcă (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Factori	Parametri											
	FN (s)	WA (%)	DT (min)	ST (min)	C2 (N·m)	C1-2 (N·m)	C3 (N·m)	C3-2 (N·m)	C4 (N·m)	C3-4 (N·m)	C5 (N·m)	C5-4 (N·m)
Constant	318,92	58,28	3,09	9,10	0,42	0,66	1,73	1,31	1,61	0,12	2,34	0,73
A	-19,25**	-0,13*	0,99*	0,20	0,01	0,67	-0,03	-0,04**	-0,06	0,02	-0,10*	-0,03
B	3,77	-0,43*	0,78*	-0,76**	-0,06**	0,04**	-0,12**	-0,05**	-0,20**	0,08**	-0,39**	-0,19**
A x B	-16,45**	0,07	0,93*	-0,27	-0,01	0,01	-0,06**	-0,05**	-0,11*	0,04*	0,12	-0,02
A ²	13,95*	-0,19	-0,75	-	0,03	-0,02	0,10**	0,07**	0,13*	-0,04	0,28**	0,14**
B ²	-10,24	-0,09	-0,33	-	0,03	0,0003	0,03	-0,002	-0,01	0,03	0,13	0,14*
<i>Evaluarea modelului</i>												
R ²	0,98	0,96	0,76	0,51	0,96	0,66	0,97	0,97	0,98	0,96	0,92	0,98
Adj.-R ²	0,92	0,79	0,62	0,48	0,79	0,47	0,90	0,79	0,91	0,79	0,98	0,92
p	0,0005	0,0011	0,0130	0,0411	0,0012	0,0492	0,0009	0,0010	0,0007	0,0011	< 0,0001	0,0006

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de hrișcă în făina albă de grâu (%), R² – coeficient de determinare, Adj.-R² – coeficient de determinare ajustat, FN – Falling number, WA – Capacitatea de absorbție a apei, DT – Timp de dezvoltare, ST – Stabilitate aluat, C2 – Consistența minimă în timpul fazei de denaturare a proteinelor, C1-2 – Diferența dintre C1 și C2, C3 – Consistența maximă în timpul fazei de gelatinizare a amidonului, C3-2 – Diferența dintre C3 și C2, C4 – Consistența minimă ce corespunde gelului fierbinte de amidon, C3-4 – Diferența dintre C3 și C4, C5 – Consistența maximă în timpul fazei de retrogradare a amidonului, C5-4 – Diferența dintre C5 și C4.

Valoarea indicelui FN a scăzut odată ce a crescut mărimea particulelor și a crescut odată cu creșterea dozei de adaos (figura 6.1a).

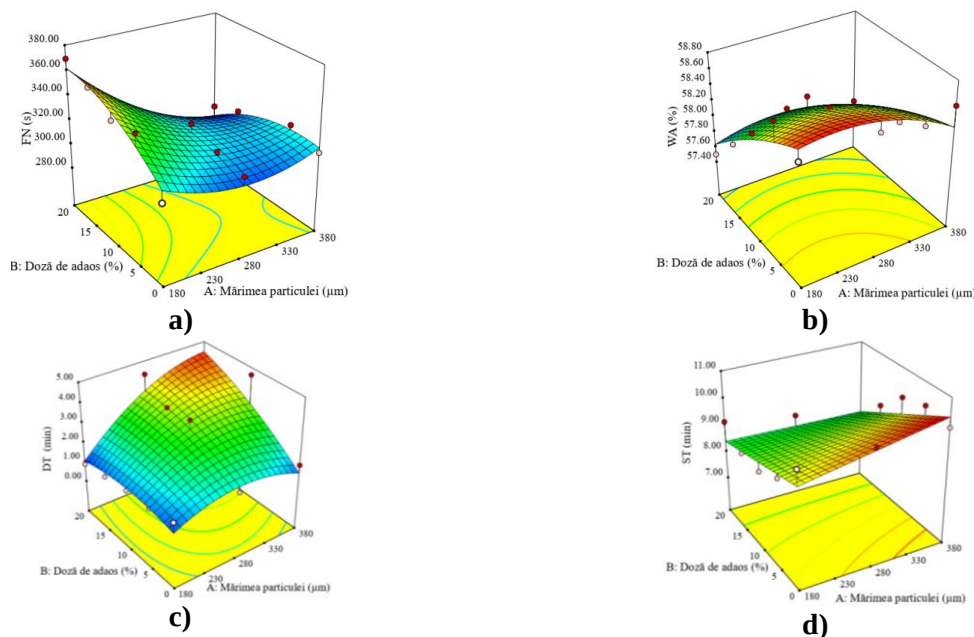


Figura 6.1. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei adăugate în făina rafinată de grâu asupra: (a) indicelui FN și parametrilor Mixolab în timpul etapei de dezvoltare a aluatului: (b) capacitatea de hidratare a făinii compozit (WA), (c) timpul de dezvoltare a aluatului (DT), (d) stabilitatea aluatului (ST) (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Proprietățile reologice în timpul etapei de amestecare

Mărimea particulei și doza de adaos a HF au avut un efect negativ asupra capacității de hidratare a făinii (WA), ceea ce a arătat că WA a scăzut pe măsură ce adaosul și mărimea particulelor de HF au crescut (figura 6.1b). Timpul de dezvoltare a aluatului (DT) a crescut substanțial pe măsură ce mărimea particulelor a crescut (figura 6.1c) și cu creșterea dozei de adaos a HF peste 10%, față de proba martor. Graficul suprafeței de răspuns a arătat că stabilitatea aluatului (ST) a scăzut atunci când cantitatea de HF a crescut, în funcție de mărimea fracției (figura 6.1d) și a crescut odată cu creșterea dimensiunii particulelor.

Evaluarea calității proteinelor în etapa de încălzire a aluatului

O scădere a C2 s-a observat pe măsură ce fracția HF a scăzut (figura 6.2a), iar în fracțiile de mărime medie acest fapt a fost cel mai evident.

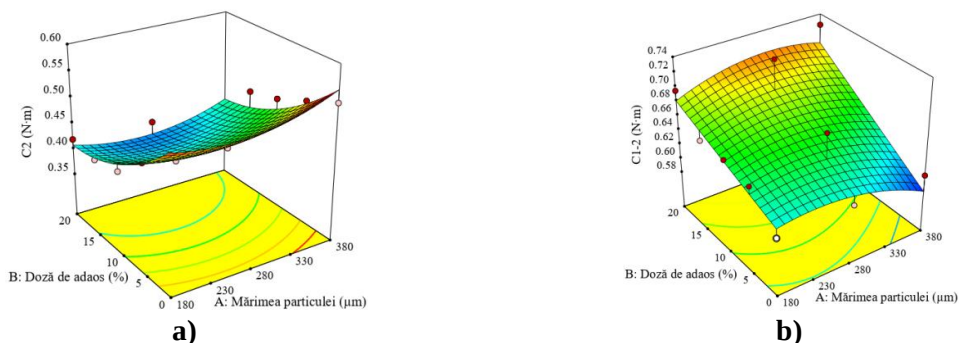


Figura 6.2. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei adăugate în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de înmuiere a proteinelor: (a) cuplul C2, (b) diferența dintre cuplurile C1 și C2 (C1-2) (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Doza de HF a crescut C1-2, dar mărimea particulei a scăzut a C1-2 (figura 6.2b).

Gelatinizarea amidonului

Rata de gelatinizare a amidonului (C3) a scăzut odată cu suplimentarea făinii de grâu cu HF, iar la doza de 20% a particulelor mari, cuplul C3 a scăzut la 1,60 N·m (figura 6.3a).



Figura 6.3. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulelor făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: (a) cuplul C3, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C2 (C3-2) (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Creșterea dozei de adaos, precum și a mărimii particulei a HF au determinat scăderea C3-2 (figura 6.3b).

Stabilitatea gelului de amidon fierbinte

Efectul combinat al factorilor asupra cuplului C4 este prezentat în graficul suprafeței de răspuns (figura 6.4a). S-a observat că odată cu adaosul de HF, cuplul C4 a scăzut.

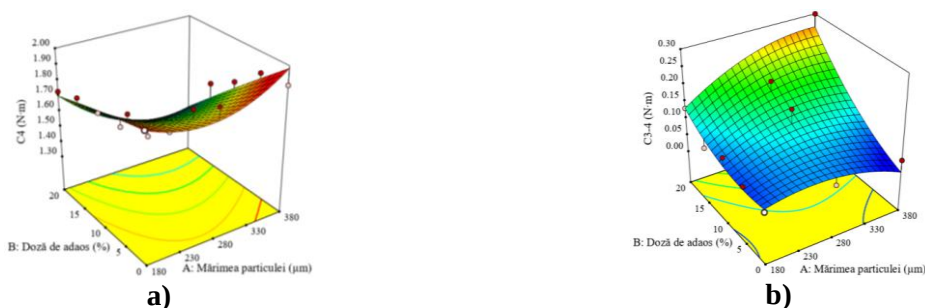


Figura 6.4. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de gelatinizare a amidonului: (a) cuplul C4, (b) diferența dintre cuplurile C3 și C4 (C3-4) (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Efectul simultan al mărimii particulelor și al dozei de adaos asupra C3-4 a evidențiat capacitatea celor doi factori de a crește C3-4 (figura 6.4b).

Retrogradarea amidonului

Din graficul suprafeței de răspuns (figura 6.5a) se poate observa că, pe măsură ce mărimea fracției și adaosul de HF au crescut, cuplul C5 a scăzut.



Figura 6.5. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra parametrilor Mixolab în timpul etapei de retrogradare a amidonului: (a) cuplul C5, (b) diferența dintre cuplurile C5 și C4 (C5-4) (Coțovanu și Mironeasa, 2021a)

Creșterea dozei de HF în compoziția aluatului scade cuplul C5-4 în comparație cu valoarea C5-4 obținută pentru aluatul de făină de grâu (figura 6.5b).

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului

Rezultatele analizei de varianță arată că modelele matematice obținute pentru caracteristicile de întindere biaxială ale aluatului sunt semnificative ($p < 0,05$) și explică între 67 și 93% din variația datelor (tabelul 6.2).

Tabelul 6.2. Coeficienții de regresie ai modelului pătratic pentru parametrii alveografici ai aluatului (Coțovanu și colab., 2022)

Factori	Parametri			
	P (mm H ₂ O)	L (mm)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L (adim.)
Constant	76,64	49,22	125,81	1,50
A	1,40	-3,00	-6,00	0,23
B	-2,67	-23,27**	-65,20**	0,67**
A x B	2,30	-2,30	-3,70	0,27
A ²	9,00**	-9,40	6,20	0,62*
B ²	1,52	22,76*	48,38**	-0,24
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,67	0,81	0,93	0,72
Adj.-R ²	0,48	0,70	0,89	0,57
p	0,046	0,0048	p < 0,0001	0,0225

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de hrișcă în făina albă de grâu (%), R², Adj.-R² – gradul de potrivire a modelului, P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; W – energia de deformare aluatului; P/L – raport alveografic.

Tenacitatea aluatului (P) a fost influențată substanțial doar de termenul pătratic al mărimii particulei, creșterea mărimii particulei făinii de hrișcă a determinat creșterea parametrului P (figura 6.6a).

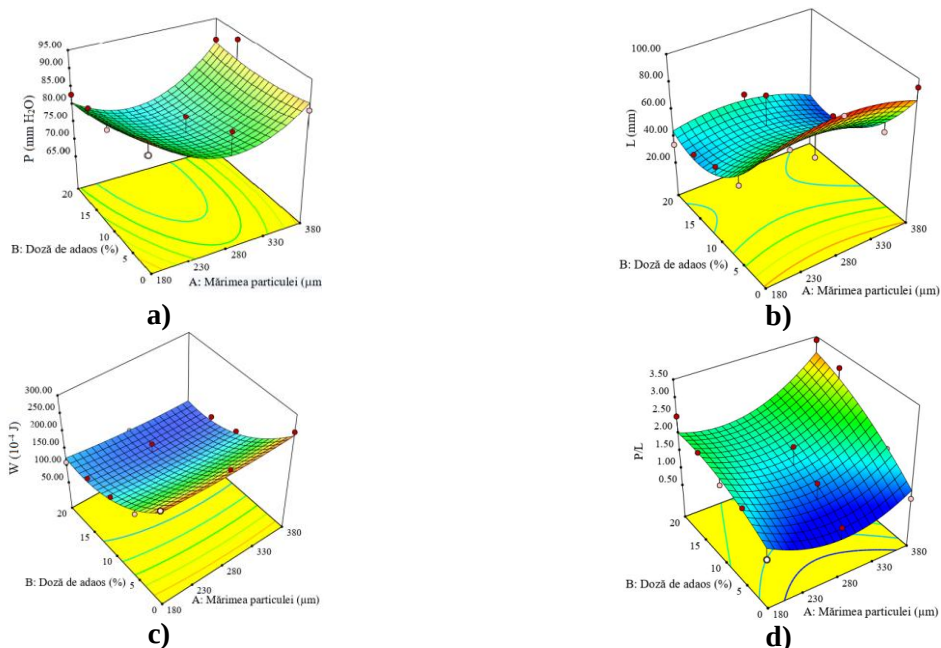


Figura 6.6. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) tenacității aluatului (P), b) extensibilității aluatului (L), c) energiei de deformare a aluatului (W) și d) raportului alveografic (P/L) (Coțovanu și colab., 2022)

Extensibilitatea aluatului (L), a scăzut semnificativ ($p < 0,01$) atunci când doza de adaos a HF a crescut, în timp ce termenul pătratic al mărimii particulei influențează în sens pozitiv parametrul L (figura 6.6b). Energia de deformare (W) a aluatului a scăzut semnificativ ($p < 0,01$) atunci când cantitatea de HF adăugată în făina de grâu a crescut (figura 6.6c). Se observă o creștere substanțială a raportului P/L odată cu creșterea interacțiunii factorilor (figura 6.6 d).

Influența mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu asupra comportamentului la fermentare a aluatului

Modelele de tip pătratic care descriu variația parametrilor la fermentarea aluatului în funcție de mărimea particulei de HF și doza de adaos în făina rafinată de grâu au prezentat valori ridicate ale coeficientului de determinare ($R^2 = 0,72 - 0,92$).

Tabelul 6.3. Coeficienții de regresie ai modelului pătratic pentru parametrii de fermentare ai aluatului din făină compozit grâu-hrișcă (Coțovanu și colab., 2022)

Factori	Parametri			
	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constant	47,64	71,37	1335,08	1197,38
A	-0,50	2,06	81,90*	81,30**
B	-1,93**	9,19**	129,80**	187,27**
A x B	-0,87	3,98*	29,20	91,20*
A ²	-0,44	3,80	93,70	105,70*
B ²	-3,55**	-2,26	-62,95	-74,76
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,79	0,91	0,72	0,92
Adj.-R ²	0,67	0,85	0,57	0,87
p	0,0069	0,0003	0,0216	0,0001

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de hrișcă în făina albă de grâu (%), R^2 , Adj.- R^2 – gradul de potrivire a modelului, H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze format în aluat; VR – volumul de gaze reținut de aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat.

Înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'm) a scăzut semnificativ ($p < 0,01$) cu creșterea dozei de adaos a făinii de hrișcă (figura 6.7a). Volumul total de gaze (VT) a fost influențat de doza de adaos a HF în făina rafinată de grâu și de interacțiunea dintre doza de adaos și mărimea particulei (figura 6.7b).

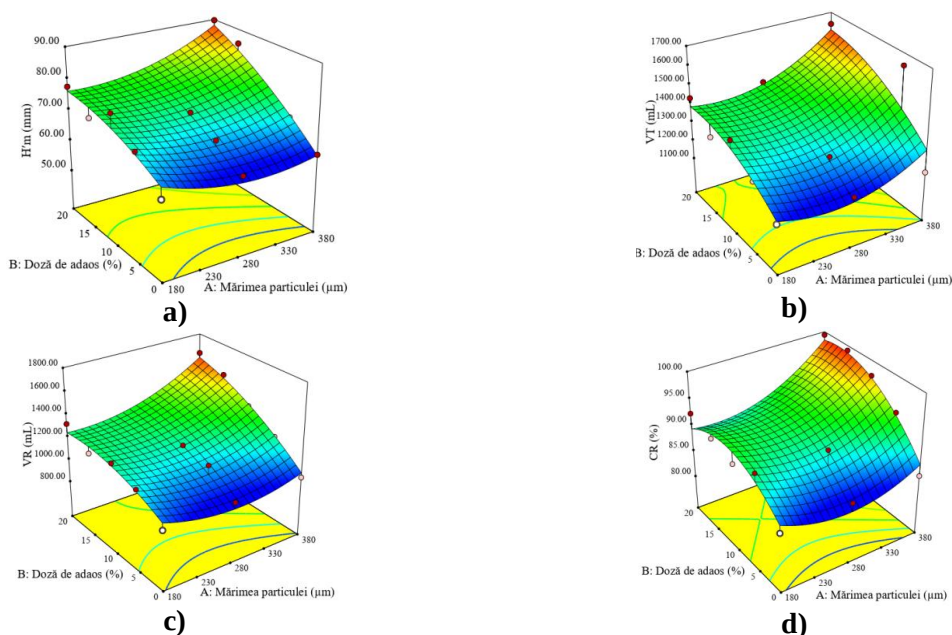


Figura 6.7. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) înălțimii maxime a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'm), b) volumului total de gaze format în aluat (VT), c) volumului de gaze reținute de aluat (VR), d) coeficientului de reținere a gazelor în aluat (CR) (Coțovanu și colab., 2022)

Volumul de gaze reținut (VR) a crescut odată cu creșterea mărimii particulei și a dozei de adaos a HF (figura 6.7c). Coeficientul de reținere a gazelor în aluat (CR) a crescut odată cu creșterea mărimii particulei și a dozei de adaos a HF (figura 6.7d).

Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos asupra parametrilor reologici dinamici ai aluatului

Coeficienții de regresie ai modelelor matematice obținute (tabelul 6.4) au evidențiat variația parametrilor reologici dinamici ai aluatului în funcție de mărimea particulei HF, doza de adaos în făina rafinată de grâu și efectul combinat al celor doi factori, la frecvența de 1 Hz.

Tabelul 6.4. Coeficienții de regresie ai modelelor matematice pentru parametrii reologici dinamici ai aluatului din făina compozit grâu - hrișcă (Coțovanu și colab., 2022)

Factori	Parametri					
	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan \delta$ (adim.)	$T_{\max}$ (°C)	$J_{C_{\max}}$ (10^{-5} Pa^{-1})	$J_{r_{\max}}$ (10^{-5} Pa^{-1})
Constant	26575,14	10079,65	0,3765	80,58	24,08	16,12
A	-2000,00**	-823,80**	-0,0093	0,54	0,52	0,45
B	1636,67*	382,53	-0,0136*	-0,10	3,77*	2,21*
A x B	-3059,00**	-855,90*	-0,0018	0,24	-	-
A^2	-1488,00	-534,00	-0,0007	-0,61	-	-
B^2	2745,71*	177,90	-0,0332**	2,57**	-	-
Evaluarea modelului						
R^2	0,83	0,76	0,75	0,75	0,42	0,43
Adj.- R^2	0,73	0,62	0,61	0,61	0,32	0,33
p	0,0031	0,0131	0,0143	0,0153	0,04	0,0353

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de hrișcă în făina albă de grâu (%), R^2 , Adj.- R^2 – gradul de potrivire a modelului, G' – modul de elasticitate; G'' – modul de vâscozitate; $\tan \delta$ – factorul de vâscozitate; $T_{\max}$ – temperatura maximă de gelatinizare; $J_{C_{\max}}$ – complianța maximă la fluaj; $J_{r_{\max}}$ – complianța maximă la revenire.

Mărimea particulelor făinii de hrișcă a avut o influență semnificativă ($p < 0,01$) asupra modulelor de elasticitate (G') și de vâscozitate (G''). Creșterea mărimii particulelor a determinat scăderea modulelor G' și G'' în funcție de doza de adaos a HF (figura 6.8a, b). Creșterea dozei de adaos a determinat scăderea factorului de vâscozitate ($\tan \delta$) (figura 6.8c).

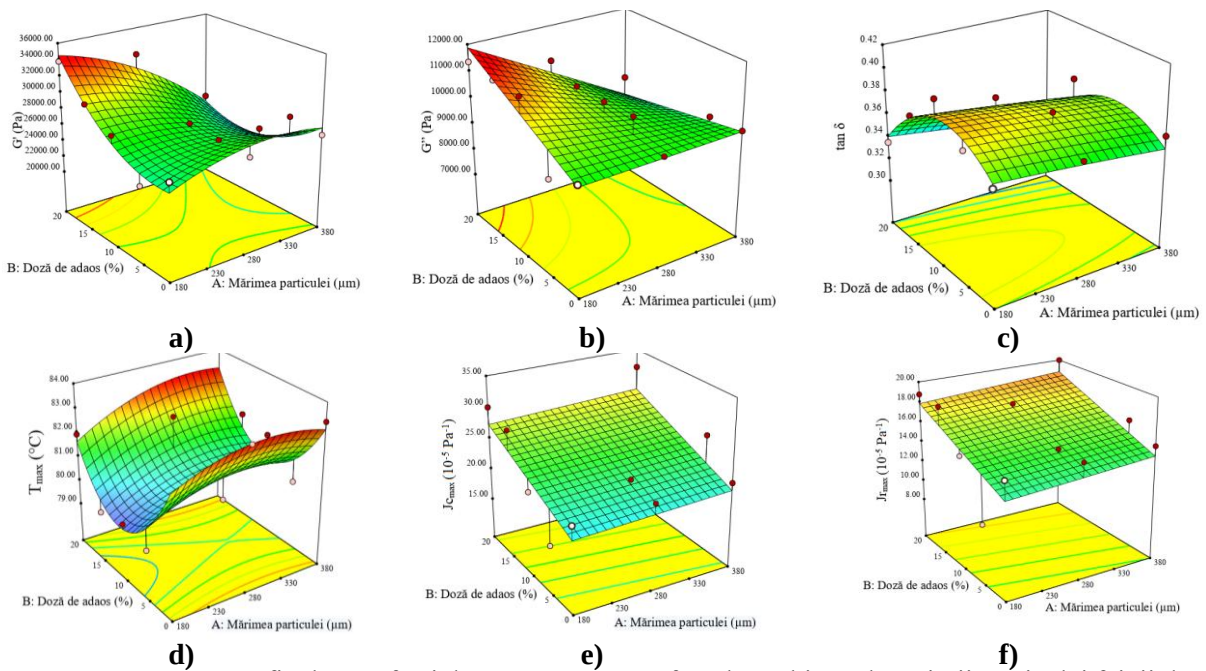


Figura 6.8. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectul combinat al mărimii particulei făinii de hrișcă și al dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra: a) modului de elasticitate (G'), b) modului de vâscozitate (G''), c) factorului de vâscozitate ($\tan \delta$), d) temperaturii maxime de gelatinizare ($T_{\max}$), e) complianței maxime la fluaj ($J_{C_{\max}}$) și f) la revenire ($J_{r_{\max}}$) a aluatului (Coțovanu și colab., 2022)

Temperatura maximă de gelatinizare ($T_{\max}$) a crescut semnificativ ($p < 0,01$) odată cu creșterea dozei de adaos și cu scăderea mărimii particulei HF (figura 6.8d). Creșterea dozei de adaos a determinat creșterea complianței la fluaj ($J_{r_{\max}}$) și la revenire ($J_{c_{\max}}$) (figura 6.8e, f).

Influența mărimii particulei făinii de hrișcă și a dozei de adaos în făina rafinată de grâu asupra texturii aluatului

În figura 6.9 este prezentat efectul mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă (HF) asupra parametrilor de textură ai aluatului din făină rafinată de grâu.

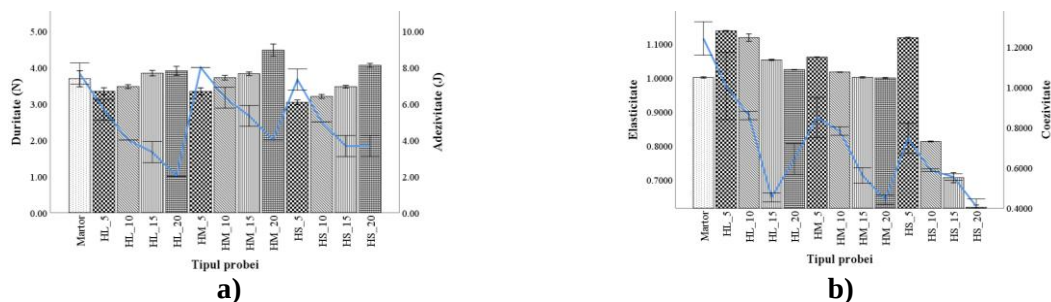


Figura 6.9. Efectul mărimii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu asupra parametrilor de textură ai aluatului: a) duritate și adezivitate, b) elasticitate și coezivitate

Mărimea particulei a avut un trend nedefinit, toate particulele au condus la aluaturi mai puțin dure decât martorul, pentru adaosuri de 5-10% HF, în timp ce pentru un adaos de 20% HF au prezentat valori mai mari în ceea ce privește duritatea (figura 6.9a). Elasticitatea probelor a prezentat o scădere în comparație cu martorul. Coezivitatea aluatului scade odată cu creșterea dozei de adaos a HF și cu scăderea mărimii particulelor.

Cercetările prezentate în **capitolul 7** au avut scopul de a investiga modul în care făina de pseudocereale, la anumite dimensiuni ale particulelor și la diferite doze de adaos în făina rafinată de grâu influențează caracteristicile fizice ale pâinii, parametrii de culoare și de textură, precum și de a estima predicția variației caracteristicilor în funcție de factorii studiați.

Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de amarant asupra calității pâinii

Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de făină de amarant și a parametrilor de culoare

Variația caracteristicilor fizice ale pâinii a fost prezisă de modelele matematice de tip pătratic (tabelul 7.1).

Tabelul 7.1. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru caracteristicile fizice ale pâinii din făina compozit grâu-amarant (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Factori	Parametri			
	Volum (cm ³)	Volum specific (cm ³ /g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Constant	365,99	2,35	70,03	93,77
A	8,19	0,06	-0,09	1,19*
B	-38,42**	-0,17**	-2,81*	-1,92**
A x B	7,70	0,01	-1,51	1,62*
A ²	-30,11**	-0,07	-3,00	1,03
B ²	-6,30	-0,13**	-6,35**	-4,09**
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,92	0,82	0,78	0,87
Adj.-R ²	0,87	0,72	0,65	0,80
p	0,0001	0,0038	0,0090	0,0008

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu (%), R^2 – coeficient de determinare, Adj.- R^2 – coeficient de determinare ajustat.

S-a observat o scădere graduală a volumului probelor de pâine odată cu creșterea dozei de AF adăugată în făina de grâu (figura 7.1a).

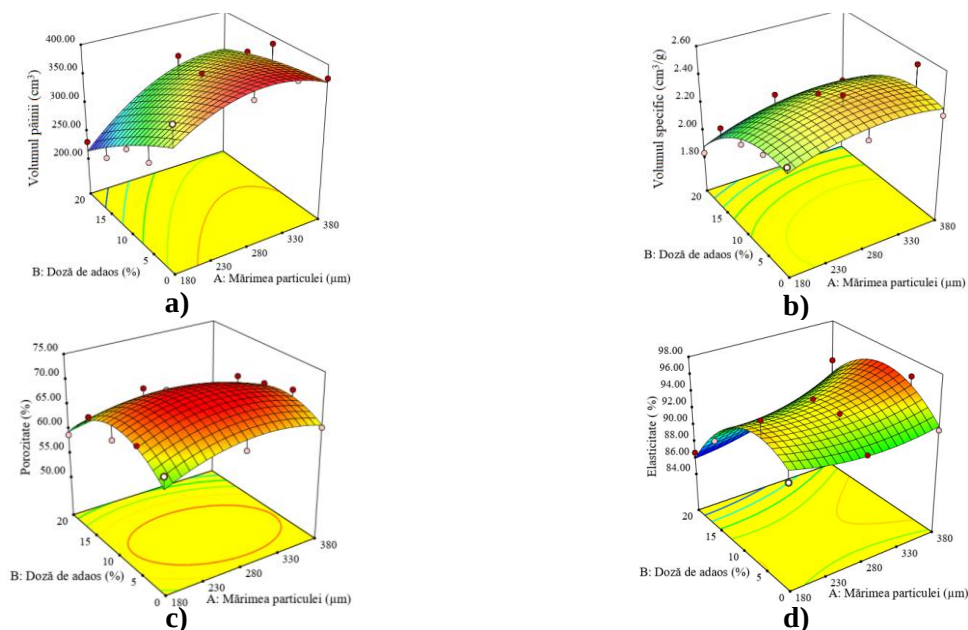


Figure 7.1. Graficul suprafeței de răspuns ce prezintă efectul combinat al mărimii particulei făinii de amarant și al dozei de adaos asupra: a) volumului, b) volumului specific, c) porozității, d) elasticității probelor de pâine (Coțovanu și Mironeasa, 2022b)

Porozitatea și elasticitatea pâinilor au scăzut odată cu creșterea dozei de adaos a AF (figura 7.1c, d).

Creșterea dozei de adaos a AF în făina rafinată de grâu și scăderea mărimii particulelor de AF au condus la o scădere a luminozității (L^*) cojii. Valorile parametrilor a^* și b^* pentru coaja pâinii au crescut atunci când adaosul de AF crește și dimensiunea particulelor scade. Miezul pâinilor a arătat o tendință de scădere a luminozității (L^*) atunci când doza de adaos a AF a crescut și când mărimii particulelor de AF a scăzut, parametrii a^* și b^* au prezentând un efect invers.

Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de amarant

Variația parametrilor de textură ai pâinilor obținute din făinurile compozit formulate, îmbogățite cu diferite doze și mărimi ale particulei de AF, este prezentată în figura 7.2.

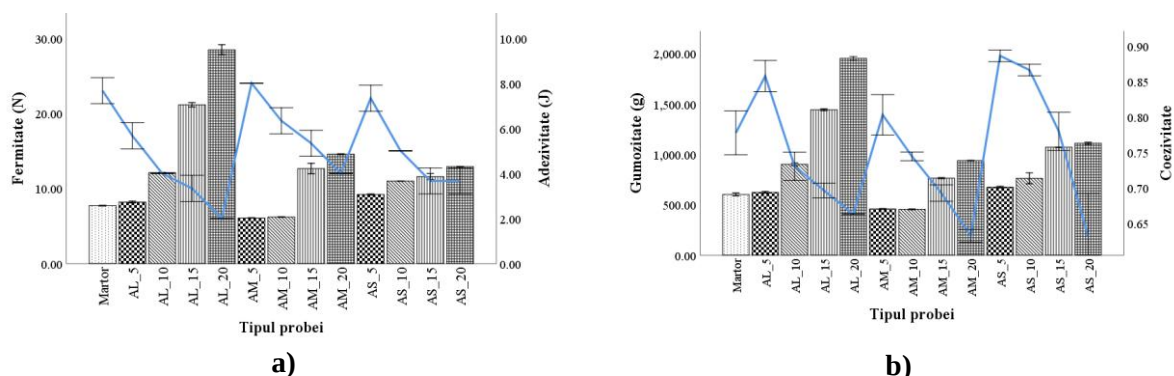


Figura 7.2. Efectul făinii de amarant (AF) cu mărimii particulei mare (L), medie (M) și mică (S) în doze de adaos de 5, 10, 15 și 20% în făina rafinată de grâu asupra parametrilor de textură ai pâinii: (a) fermitate și adezivitate, (b) gumozitate și coezivitate, în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (maritor) (Coțovanu și Mironeasa, 2021b)

Fermitatea pâinii a crescut atunci când doza de AF a crescut, dar probele de pâine AM_5 și AM_10 au prezentat o fermitate mai mică decât pâinea din făină de grâu. Pâinile cu particule de mărime mare cu 15 și 20% AF au indicat o fermitate ridicată. Adezivitatea a scăzut odată cu creșterea dozei de adaos a AF (figura 7.2a). Gumozitatea a indicat o scădere pentru particulele făinii de AF. Coezivitatea probelor de pâine a indicat o scădere atunci când mărimea particulelor a crescut și o creștere atunci când doza de adaos a crescut (figura 7.2b).

Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de quinoa asupra calității pâinii

Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de quinoa și a parametrilor de culoare

Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru caracteristicile fizice ale pâinilor formulate din făina compozit grâu-quinoa sunt prezentați în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru caracteristicile fizice ale pâinii din făină compozit grâu-quinoa

Factori	Parametri			
	Volum (cm ³)	Volum specific (cm ³ /g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Constant	388,68	2,17	72,43	95,59
A	-19,71**	0,02	-0,612	0,44
B	-20,93**	-0,26**	-2,30*	-1,81**
A x B	-5,88	0,019	-0,612	0,39
A ²	-2,46	0,022	-2,11	-0,22
B ²	-28,45*	0,006	-7,99**	-4,85**
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,82	0,96	0,83	0,84
Adj.-R ²	0,71	0,94	0,73	0,75
p	0,0042	<0,0001	0,0031	0,0023

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de quinoa în făina albă de grâu (%), R² – coeficient de determinare, Adj.-R² – coeficient de determinare ajustat.

Efectul mărimii particulei făinii de quinoa și a dozei de adaos asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine formulate este prezentat în figura 7.3.

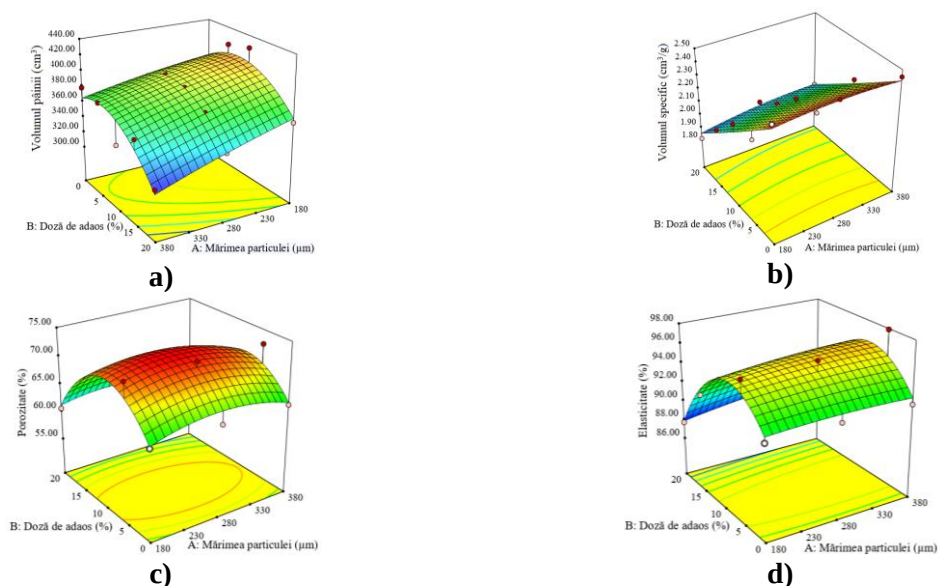


Figura 7.3. Graficul suprafeței de răspuns ce prezintă efectul combinat al dozei de adaos și al mărimii particulei făinii de quinoa asupra: a) volumului, b) volumului specific, c) porozității, d) elasticității probelor de pâine

Volumul probelor de pâine a scăzut semnificativ ($p < 0,01$) odată cu creșterea adaosului și mărimii particulei făinii de hrișcă (figura 7.3a, b). Porozitatea și elasticitatea pâinii obținute din făina compozit grâu-quinoa au fost influențate negativ semnificativ ($p < 0,01$) de nivelul de adaos al QF, mărimea particulei și interacțiunea dintre factori (figura 7.3c, d).

Doza de adaos și mărimea particulelor făinii de quinoa a scăzut luminozitatea (L^*) cojii și a miezului pâinii, dar a crescut parametrii de culoare a^* și b^* .

Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de quinoa

Profilul de textură al pâinilor cu făină de quinoa în diferite doze de adaos și mărimi de particule este prezentat în figura 7.4.

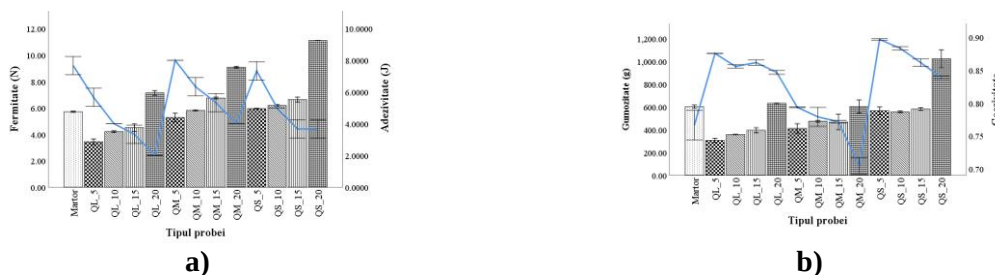


Figura 7.4. Efectul făinii de quinoa (QF) cu mărimea particulei mare (L), medie (M) și mică (S) în doză de adaos de 5, 10, 15 și 20% asupra parametrilor de textură ai pâinii: (a) fermitate și adezivitate, (b) gumozitate și coezivitate, în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (martor) (Coțovanu și colab., 2021)

Creșterea dozei de adaos a QF în făina de grâu a determinat creșterea fermității miezului de pâine. Adezivitatea a scăzut odată cu creșterea dozei de adaos și a mărimii particulei (figura 7.4a). Elasticitatea și coezivitatea pâinii au scăzut atunci când doza de adaos a făinii de quinoa a crescut (figura 7.4b).

Cercetări privind influența dozei de adaos și a mărimii particulei făinii de hrișcă asupra calității pâinii

Determinarea caracteristicilor fizice ale pâinii cu adaos de făină de hrișcă și a parametrilor de culoare

Modelele de tip pătratic au descris adecvat variația volumului, porozității și elasticității pâinii în funcție de mărimea particulei făinii de hrișcă și doza de adaos în făina de grâu (tabelul 7.3).

Tabelul 7.3. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive obținute pentru caracteristicile fizice ale pâinii din făină compozit grâu-hrișcă (Coțovanu și colab., 2022)

Factori	Parametri			
	Volum (cm ³)	Volum specific (cm ³ /g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Constant	357,55	2,79	74,05	93,54
A	36,98**	0,09*	0,88	1,12**
B	-41,94**	0,01	0,32	-0,85*
A x B	22,03	0,02	0,83	1,28*
A ²	-35,35*	-0,09	-0,54	-0,15
B ²	-7,20	-0,45**	-7,96**	-2,56**
<i>Evaluarea modelului</i>				
R ²	0,83	0,87	0,72	0,84
Adj.-R ²	0,74	0,79	0,56	0,75
p	0,0029	0,0011	0,02	0,0022

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, A – Mărimea particulei (μm), B – Doza de adaos a făinii de hrișcă în făina albă de grâu (%), R² – Coeficient de determinare, Adj.-R² – Coeficient de determinare ajustat.

Graficele suprafețelor de răspuns (figura 7.5) au indicat o scădere a volumului, porozității și elasticității pâinii odată cu creșterea dozei de adaos, în timp ce creșterea mărimii particulei a determinat creșterea volumului și elasticității pâinii.

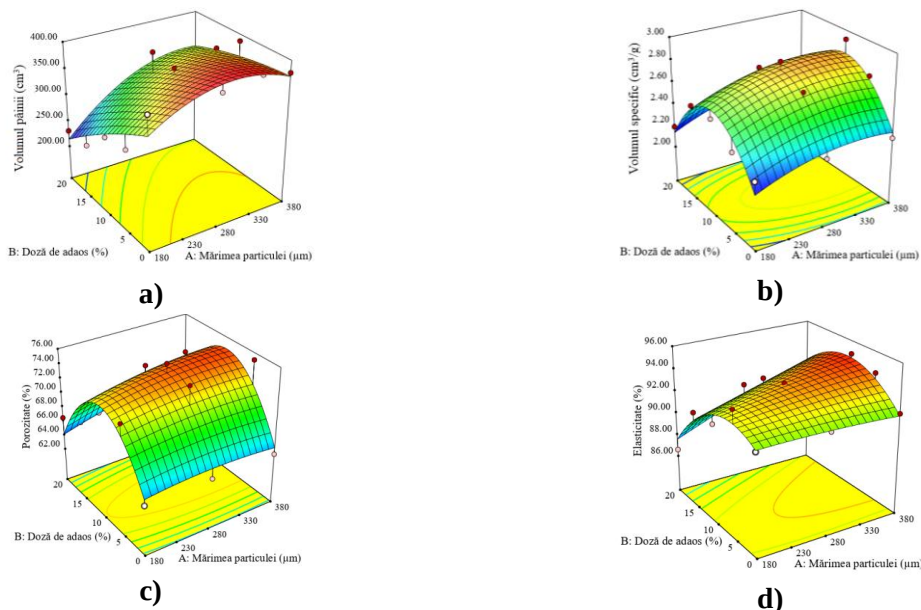


Figura 7.5. Graficul suprafeței de răspuns ce prezintă efectul combinat al dozei de adaos și al mărimii particulei făinii de hrișcă asupra: a) volumului pâinii, b) volumului specific, c) porozității, d) elasticității probelor de pâine (Coțovanu și colab., 2022)

S-a observat o scădere graduală semnificativă ($p < 0,01$) a volumului pâinilor odată cu doza de HF adăugată în făina de grâu, în timp ce creșterea mărimii particulei a produs o creștere a volumului (figura 7.5a,b). Elasticitatea și porozitatea probelor de pâine formulate cu făină de hrișcă a crescut cu creșterea mărimii particulei, însă a scăzut cu creșterea dozei de adaos a HF.

Creșterea dozei de HF în făina de grâu a condus la o scădere semnificativă a luminozității (L^*) cojii și miezului pâinii, iar diferențe semnificative s-au constatat doar între particulele de mărime medie și cele mari și mici. Valoarea intensității culorii roșii (a^*) a cojii pâinii martor a fost mai mică decât a pâinilor din făină compozit. Valoarea nuanței de galben (b^*) a crescut treptat când adaosul de HF a crescut. Valorile intensității culorii verde ($-a^*$) a miezului de pâine au prezentat o diferență semnificativă doar pentru fracțiunile mici a HF. Nuanța de galben a miezului de pâine (b^*) a fost influențată de fracțiile HF astfel: $S > M > L$.

Evaluarea parametrilor de textură ai pâinii cu adaos de făină de hrișcă

Parametrii de textură ai pâinii au prezentat variații diverse în funcție de mărimea particulei și doza de adaos a HF în făina de grâu (figura 7.6).

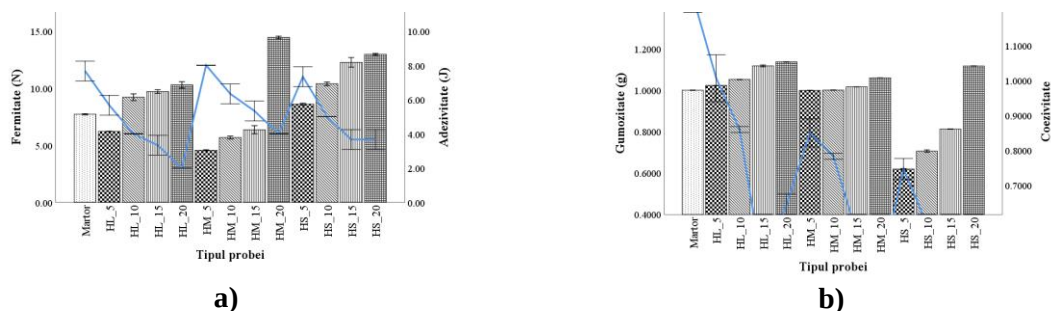


Figura 7.6. Efectul făinii de hrișcă (HF) cu mărimea particulei mare (L), medie (M) și mică (S) în doză de adaos de 5, 10, 15 și 20% asupra parametrilor de textură ai pâinii: (a) fermitate și adezivitate, (b) gumozitate și coezivitate, în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (martor) (Coțovanu și Mironeasa, 2022a)

Creșterea adaosului de HF în făină de grâu a condus la creșterea fermității probelor de pâine, însă în probele HL_5, QM_5, QM_10, QM_15 și QS_5 s-a observat o fermitate mai scăzută decât cea caracteristică probei martor. Adezivitatea pâinii scade cu creșterea dozei de adaos, dar crește când mărimea particulei scade (figura 7.6a). Elasticitatea probelor din făină compozit a indicat o creștere semnificativă față de proba martor, în cazul probelor cu adaos de 5 și 10%, pentru toate mărimile de particule (figura 7.6b). Creșterea dozei de adaos la peste 15%, a scăzut elasticitatea și a prezentat un trend descendent în funcție de mărimea particulei. Coezivitatea a scăzut la toate probele de pâine, cu excepția probei HM_5.

Capitolul 8, intitulat *”Optimizarea dozei de adaos a făinii de pseudocereale în făina rafinată de grâu și caracterizarea probelor optime”* a avut scopul de a determina doza optimă de adaos în făina rafinată de grâu pentru dimensiunile de particule studiate ale făinii de pseudocereale și de a evalua caracteristicile de panificație ale făinurilor compozit optime și ale pâinilor fabricate din amestecul optim aferent fiecărei mărimi de particulă. Pentru stabilirea făinurilor compozit optime din punct de vedere a caracteristicilor de panificație ale făinii și a parametrilor de calitate ai pâinii s-a utilizat analiza răspunsurilor multiple pentru modelele predictive obținute, prin aplicarea optimizării numerice și a funcției obiectiv. Pentru validarea rezultatelor, experimentele au fost repetate, iar între valorile prezise pentru probele optime și cele verificate experimental au fost obținute diferențe mai mici de 5%, care arată că modelele predictive obținute descriu adecvat interdependența dintre caracteristicile evaluate. Valorile experimentale au fost comparate apoi cu valorile probei martor pentru a se constata dacă există diferențe semnificative între caracteristici.

Optimizarea dozei de adaos a făinii de pseudocereale în făina rafinată de grâu și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit și a calității pâinii

Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de amarant studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-amarant și a calității pâinii

Rezultatele obținute au evidențiat că valoarea optimă a dozei de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de amarant a fost de **9,41%**, pentru fracția de mărime mare (L), **9,39%** pentru fracția de mărime medie (M) și de **7,89%** pentru fracția de mărime mică (S). Formularea făinurilor compozit grâu-amarant cu aceste doze optime de adaos a urmărit obținerea celor mai bune caracteristici tehnologice și de calitate ale pâinii (tabelul 8.1). Conform rezultatelor obținute, făinurile compozit optime grâu-amarant, pentru toate cele trei fracții ale făinii de amarant, au prezentat o activitate α -amilazică, cuantificată prin indicele Falling number, apropiată de cea a probei martor. Stabilitatea aluatului (ST) și rata de slăbire termică a proteinelor au indicat valori foarte apropiate de valorile probei martor, iar timpul de dezvoltare al aluatului a fost considerabil mai mare decât cel pentru proba martor. Probele optime de aluat au avut o capacitate mai mare de reținere a gazelor în comparație cu aluatul din făină de grâu. Modulele de elasticitate și vâscozitate au prezentat valori mai ridicate decât ale martorului pentru toate probele de aluat optime, fapt ce a indicat natura vâsco-elastică a aluatului, rezultate care erau de așteptat. Valorile ridicate ale acestor module se pot datora interacțiunilor puternice între amidon și gluten sau legăturilor complexe care se formează între granulele de amidon și fibrele din făina de amarant (Quiroga și colab., 2009).

Tabelul 8.1. Caracteristicile făinii compozit grâu-amarant, parametrii reologici ai aluatului și caracteristicile pâinii obținute din optimizarea dozei de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de amarant

Caracteristica	O_AL		O_AM		O_AS	
	Valori prezie	Valori experimentale	Valori prezie	Valori experimentale	Valori prezie	Valori experimentale
Doza de adaos (%)	9,41	9,41	9,39	9,39	7,89	7,89
FN (s)	312,09 ± 5,38 ^s	312,12 ± 3,78 ^{sa}	316,85 ± 5,38 ^s	317,03 ± 6,11 ^{sb}	316,09 ± 5,39 ^s	315,85 ± 4,65 ^{so}
WA (%)	58,08 ± 0,30 ^s	57,94 ± 0,58 ^{sa}	58,44 ± 0,30 ^s	58,68 ± 0,34 ^{sa}	58,57 ± 0,30 ^s	59,52 ± 0,03 ^{sa}
DT (min)	3,18 ± 1,02 ^s	3,10 ± 0,75 ^{sb}	2,85 ± 1,02 ^s	3,00 ± 1,05 ^{sb}	2,89 ± 1,02 ^s	3,05 ± 0,90 ^{so}
ST (min)	10,22 ± 0,62 ^s	9,95 ± 0,66 ^{sa}	10,00 ± 0,62 ^s	9,50 ± 0,70 ^{sa}	9,72 ± 0,62 ^s	10,04 ± 0,70 ^{sa}
C1-2 (N·m)	0,56 ± 0,01 ^s	0,55 ± 0,01 ^{sa}	0,59 ± 0,01 ^s	0,60 ± 0,02 ^{sa}	0,64 ± 0,02 ^s	0,62 ± 0,02 ^{sa}
C3-2 (N·m)	1,32 ± 0,03 ^s	1,30 ± 0,02 ^{sa}	1,28 ± 0,03 ^s	1,30 ± 0,04 ^{sa}	1,25 ± 0,03 ^s	1,31 ± 0,03 ^{sa}
C3-4 (N·m)	0,19 ± 0,03 ^s	0,20 ± 0,04 ^{sb}	0,16 ± 0,03 ^s	0,165 ± 0,03 ^{sb}	0,07 ± 0,03 ^s	0,072 ± 0,01 ^{so}
C5-4 (N·m)	0,84 ± 0,10 ^s	0,88 ± 0,05 ^{sa}	0,86 ± 0,10 ^s	0,91 ± 0,11 ^{sa}	0,88 ± 0,10 ^s	0,85 ± 0,01 ^{sa}
P (mm H ₂ O)	90,30 ± 6,84 ^s	91,50 ± 3,70 ^{sb}	87,00 ± 5,75 ^a	92,88 ± 7,76 ^{sb}	96,79 ± 6,84 ^s	95,05 ± 5,40 ^{sb}
L (mm)	52,03 ± 5,61 ^s	51,47 ± 3,04 ^{sa}	54,52 ± 5,61 ^s	58,93 ± 6,37 ^{sa}	57,14 ± 5,62 ^s	55,25 ± 14,85 ^{sa}
W (10 ⁻⁴)	171,05 ± 21,96 ^s	180,00 ± 11,91 ^{sa}	172,99 ± 21,96 ^s	173,60 ± 24,54 ^{sa}	178,40 ± 21,97 ^s	180,42 ± 18,65 ^{sa}
P/L (adim.)	1,65 ± 0,47 ^s	1,70 ± 0,25 ^{sb}	1,60 ± 0,47 ^s	1,68 ± 0,54 ^{sb}	1,92 ± 0,48 ^s	2,02 ± 0,50 ^{so}
H'm (mm)	73,09 ± 3,40 ^s	75,27 ± 5,20 ^{sb}	62,00 ± 4,25 ^a	73,58 ± 3,86 ^{so}	71,48 ± 3,41 ^s	70,95 ± 2,85 ^{so}
VT (mL)	1292,54 ± 6,40 ^s	1260,57 ± 9,81 ^{sa}	1168,00 ± 89,56 ^a	1290,19 ± 58,38 ^{so}	1223,22 ± 56,41 ^s	1197,50 ± 117,25 ^{sa}
VR (mL)	1158,65 ± 9,53 ^s	1160,83 ± 3,74 ^{sa}	991,00 ± 85,25 ^a	1158,70 ± 36,53 ^{so}	1127,68 ± 36,54 ^s	1197,45 ± 96,45 ^{sa}
CR (%)	90,30 ± 6,84 ^s	90,86 ± 2,77 ^{sb}	84,80 ± 2,5 ^a	89,32 ± 1,62 ^{so}	90,24 ± 1,44 ^s	89,75 ± 5,45 ^{so}
G' (Pa)	29342,30 ± 250,16 ^s	28901,40 ± 287,25 ^{sb}	26370,00 ± 180,00 ^a	26235,30 ± 195,39 ^{so}	23517,24 ± 225,16 ^s	22320,25 ± 210,25 ^{sa}
G'' (Pa)	11935,10 ± 41,99 ^s	11413,4 ± 691,37 ^{sb}	9488,00 ± 74,58 ^a	9999,05 ± 869,51 ^{so}	9801,28 ± 930,99 ^s	10256,05 ± 78,69 ^{so}
tan δ (adim.)	0,362 ± 0,02 ^s	0,352 ± 0,01 ^{sa}	0,360 ± 0,02 ^a	0,3450 ± 0,02 ^{sa}	0,350 ± 0,02 ^s	0,344 ± 0,02 ^{sa}
T _{max} (°C)	80,51 ± 0,84 ^s	80,47 ± 0,45 ^{sa}	83,24 ± 0,55 ^{so}	80,56 ± 0,96 ^{sa}	80,27 ± 0,85 ^s	79,58 ± 0,45 ^{sa}
J _{Cmax} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	19,54 ± 4,68 ^s	20,58 ± 2,54 ^{sa}	24,50 ± 4,50 ^{so}	20,24 ± 5,31 ^{sa}	27,64 ± 4,68 ^s	25,45 ± 3,47 ^{sa}
J _{rmax} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	12,73 ± 2,68 ^s	13,11 ± 1,45 ^{sa}	16,62 ± 2,40 ^{so}	17,42 ± 3,04 ^{so}	17,46 ± 2,68 ^s	17,95 ± 2,63 ^{so}
BV (cm ³)	349,34 ± 12,37 ^s	349,10 ± 6,71 ^{sa}	372,20 ± 15,25 ^{so}	372,92 ± 14,04 ^{sa}	341,79 ± 12,38 ^s	341,77 ± 1,50 ^{sa}
BH (N)	10,03 ± 2,92 ^s	9,61 ± 0,71 ^{sa}	7,55 ± 3,00 ^{so}	7,20 ± 2,72 ^s	13,25 ± 2,73 ^s	12,75 ± 10,52 ^{so}
						7,55 ± 3,00 ^a

O_AL, O_AM, O_AS – proba optimă de făină compozit grâu-amarant cu particule de mărime mare, medie și mică a făinii de amarant. Valorile medii aflate pe același rând umbrate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$); x-y pentru diferențele dintre valorile prezie și cele experimentale și a-b pentru diferențele dintre valorile experimentale și proba mărto. FN – falling number; WA – capacitatea de absorbție a apei; DT – timp de dezvoltare; ST – stabilitate la aluare; C1-2 – faza de denaturare a proteinelor; C3-2 – faza de gelatinizare a amidonului; C3-4 – stabilitatea gelului fierbite de amidon; C5-4 – faza de retrogradare a amidonului; P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; W – energia de deformare; P/L – raport alveografic; H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze format în aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat; G' – modul de elasticitate; G'' – modul de vâscozitate; tan δ – factor de vâscozitate; J_{Cmax} – complianța maximă în faza de fluaj; J_{rmax} – complianța maximă în faza de revenire; BV – volumul pâinii; BH – fermitatea pâinii.

Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de quinoa studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-quinoa și a calității pâinii

Valorile optime ale dozelor de adaos aferente mărimilor de particule evaluate, pentru formularea celor mai potrivite probe de făină compozit grâu-quinoa în scopul obținerii de produse de panificație cu atributele de calitate dorite, au fost de **8,78%** pentru fracția de mărime mare (L), de **9,20%** pentru fracția de mărime medie (M) și de **8,62%** pentru mărimea mică (S) a particulelor făinii de quinoa (tabelul 8.2).

Rezultatele au indicat o ușoară creștere a indicelui Falling number în făina compozit cu particule de dimensiuni mici, comparativ cu proba martor. Valorile obținute pentru capacitatea de absorbție a apei, stabilitatea aluatului și cuplul C1-2 au indicat o ușoară scădere față de valorile caracteristice probei martor. Parametrii alveografici au indicat o creștere a tenacității și a raportului alveografic P/L pentru probele optime, în timp ce extensibilitatea și energia de deformare au scăzut în comparație cu martorul. Comportarea la fermentare a aluaturilor a cunoscut o îmbunătățire în ceea ce privește capacitatea de formare și reținere a gazelor, față de aluatul obținut din făină de grâu. Modulele de elasticitate și vâscozitate ale aluatului pentru probele optime au prezentat valori mai mari decât cele ale probei martor, iar cele mai mari valori s-au obținut pentru probele optime cu dimensiune medie și mică a fracției făinii de quinoa (tabelul 8.2). Adaosul particulelor de dimensiune medie și mică în făina compozit a condus la un aluat mai ferm, acest lucru fiind posibil datorită conținutului ridicat de proteine din fracția medie a făinii de quinoa. Variația factorului de vâscozitate ($\tan \delta$) a indicat o scădere substanțială pentru proba cu particule de dimensiune mică, urmată de cea cu particule de dimensiune medie, comparativ cu martorul. Temperatura maximă de gelatinizare a scăzut pentru toate probele optime comparativ cu martorul. O rezistență mai mare la deformare indicată de scăderea valorii complianței s-a obținut pentru probele optime cu fracții mari și medii comparativ cu proba martor. În cazul probelor cu fracții mici a făinii de quinoa, rezistența la deformare este apropiată de cea a probei martor.

Volumul pâinii a scăzut pentru probele cu fracții mari, în timp ce pentru fracțiile medii și mici din făina compozit, acesta a crescut, iar cea mai mare creștere s-a obținut pentru făinurile compozit cu fracții mici. Fermitatea miezului de pâine a scăzut comparativ cu proba martor, iar cea mai scăzută valoare s-a obținut pentru probele optime cu mărimea mică a particulei făinii de quinoa.

Tabelul 8.2. Caracteristicile făinii compozit grâu-quinua, parametrii reologici ai aluatului și caracteristicile pâinii obținute din optimizarea dozei de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de quinua

Caracteristica	O_QL		O_QM		O_QS	
	Valori prețise	Valori experimentale	Martor	Valori prețise	Valori experimentale	Martor
Doza de adaos	8,78	8,78		8,62	8,62	
FN (s)	306,13 ± 7,23 ^s	305,36 ± 5,25 ^{sa}	312,00 ± 5,25 ^a	306,70 ± 7,23 ^s	305,50 ± 5,25 ^{sa}	312,00 ± 5,25 ^a
WA (%)	57,76 ± 0,38 ^s	57,72 ± 0,25 ^{sa}	58,50 ± 0,02 ^a	58,08 ± 0,38 ^s	58,25 ± 0,54 ^{sa}	58,50 ± 0,02 ^a
DT (min)	2,37 ± 1,35 ^s	2,48 ± 0,75 ^{so}	1,69 ± 0,75 ^a	2,05 ± 1,35 ^s	2,11 ± 0,98 ^{so}	1,69 ± 0,75 ^a
ST (min)	9,93 ± 0,37 ^s	9,45 ± 0,66 ^{sa}	9,96 ± 0,65 ^a	9,69 ± 0,37 ^s	9,80 ± 0,05 ^{sa}	9,96 ± 0,65 ^a
C1-2 (N·m)	0,58 ± 0,01 ^s	0,58 ± 0,25 ^{sa}	0,61 ± 0,02 ^a	0,58 ± 0,01 ^s	0,60 ± 0,02 ^{sa}	0,61 ± 0,02 ^a
C3-2 (N·m)	1,39 ± 0,01 ^s	1,38 ± 0,02 ^{sa}	1,41 ± 0,03 ^a	1,37 ± 0,01 ^s	1,40 ± 0,01 ^{sa}	1,41 ± 0,03 ^a
C3-4 (N·m)	0,17 ± 0,02 ^s	0,18 ± 0,01 ^{so}	0,05 ± 0,04 ^a	0,15 ± 0,02 ^s	0,140 ± 0,01 ^{so}	0,05 ± 0,04 ^a
C5-4 (N·m)	0,94 ± 0,03 ^s	0,94 ± 0,01 ^{sa}	1,15 ± 0,01 ^a	0,92 ± 0,03 ^s	0,90 ± 0,05 ^{sa}	1,15 ± 0,01 ^a
P (mm H ₂ O)	98,14 ± 6,41 ^s	99,51 ± 5,20 ^{so}	87,00 ± 5,75 ^a	104,44 ± 6,41 ^s	100,50 ± 5,25 ^{so}	87,00 ± 5,75 ^a
L (mm)	49,85 ± 7,91 ^s	47,77 ± 5,21 ^{sa}	91,00 ± 10,50 ^a	36,69 ± 7,91 ^s	37,89 ± 5,40 ^{sa}	91,00 ± 10,50 ^a
W (10 ⁻⁴)	181,83 ± 17,73 ^s	177,93 ± 10,95 ^{sa}	253,00 ± 20,14 ^a	168,63 ± 17,73 ^s	170,52 ± 20,45 ^{sa}	253,00 ± 20,14 ^a
P/L (adim.)	2,11 ± 0,49 ^s	2,23 ± 0,20 ^{so}	0,95 ± 0,05 ^a	3,16 ± 0,49 ^s	3,20 ± 0,05 ^{so}	0,95 ± 0,05 ^a
H'm (mm)	64,27 ± 1,40 ^s	64,48 ± 0,05 ^{so}	62,00 ± 4,25 ^a	65,61 ± 1,40 ^s	64,25 ± 2,50 ^{so}	62,00 ± 4,25 ^a
VT (mL)	1245,57 ± 24,11 ^s	1249,36 ± 22,11 ^{so}	1168,00 ± 89,56 ^a	1206,13 ± 24,11 ^s	1205,02 ± 12,20 ^{so}	1168,00 ± 89,56 ^a
VR (mL)	1076,61 ± 20,16 ^s	1081,93 ± 950 ^{so}	991,00 ± 85,25 ^a	1041,81 ± 20,16 ^s	990,45 ± 75,70 ^{sa}	991,00 ± 85,25 ^a
CR (%)	84,61 ± 1,32 ^s	84,69 ± 2,85 ^{sa}	84,80 ± 2,50 ^a	84,03 ± 1,32 ^s	83,75 ± 2,95 ^{sa}	84,80 ± 2,50 ^a
G' (Pa)	42559,1 ± 472,08 ^s	43560,83 ± 258,50 ^{so}	26370,00 ± 180,00 ^a	48562,9 ± 87,93 ^s	47856,52 ± 470,25 ^{so}	26370,00 ± 180,00 ^a
G'' (Pa)	14357,3 ± 120,58 ^s	14573,01 ± 145,45 ^{so}	9488,00 ± 74,58 ^a	13960,2 ± 27,29 ^s	13560,54 ± 129,45 ^{so}	9488,00 ± 74,58 ^a
tan δ (adim.)	0,330 ± 0,00 ^s	0,330 ± 0,01 ^{sa}	0,360 ± 0,02 ^a	0,330 ± 0,00 ^s	0,330 ± 0,01 ^{sa}	0,356 ± 0,02 ^a
T _{max} (°C)	79,32 ± 1,06 ^s	79,16 ± 0,96 ^{sa}	83,24 ± 0,55 ^a	78,69 ± 1,06 ^s	78,25 ± 0,95 ^{sa}	83,24 ± 0,55 ^a
J _{Cmax} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	18,07 ± 3,71 ^s	17,71 ± 2,51 ^{sa}	24,50 ± 4,50 ^a	17,12 ± 3,71 ^s	18,00 ± 0,85 ^{sa}	24,50 ± 4,50 ^a
J _{Tmax} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	12,72 ± 2,03 ^s	12,45 ± 0,58 ^{sa}	16,62 ± 2,40 ^a	12,27 ± 2,03 ^s	12,75 ± 3,20 ^{sa}	16,62 ± 2,40 ^a
BV (cm ³)	372,26 ± 5,51 ^s	371,60 ± 25,89 ^{sa}	372,20 ± 15,25 ^a	387,38 ± 15,51 ^s	391,91 ± 25,50 ^{so}	372,20 ± 15,25 ^a
BH (N)	4,02 ± 2,02 ^s	3,90 ± 1,59 ^{sa}	7,55 ± 3,00 ^a	5,16 ± 1,02 ^s	4,90 ± 2,59 ^{sa}	7,55 ± 3,00 ^a

O_QL, O_QM, O_QS – proba optimă de făină compozit grâu-quinua cu particule de mărime mare, medie și mică a făinii de quinua. Valorile medii aflate pe același rând umbrate de liere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$); x-y pentru diferențele dintre valorile prețise și cele experimentale și a-b pentru diferențele dintre valorile experimentale și proba martor). FN – falling number; WA – capacitatea de absorbție a apei; DT – timp de dezvoltare; ST – stabilitate la absorbie a apei; C1-2 – faza de denaturare a proteinelor; C3-2 – faza de gelatinizare a amidonului; C3-4 – stabilitatea gelului fierbinte de amidon; C5-4 – faza de retrogradare a amidonului; P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; W – energia de deformare; P/L – raport alveografic; H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze reținut în aluat; VR – volumul de gaze reținut în aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat; G' – modulul de elasticitate; G'' – modulul de vâscozitate; tan δ – factor de vâscozitate; T_{max} – temperatura maximă de gelatinizare; J_{Cmax} – complianța maximă în faza de revenire; BV – volumul pâinii; BH – fermitatea pâinii.

Optimizarea dozei de adaos pentru dimensiunile particulelor făinii de hrișcă studiate și evaluarea caracteristicilor de panificație ale făinii compozit grâu-hrișcă și a calității pâinii

Aplicarea optimizării numerice a permis stabilirea dozei optime de adaos în făina de grâu pentru fiecare mărime a particulei făinii de hrișcă, de **9,13%** pentru fracția de mărime mare (L), **10,57%** pentru fracția de mărime medie (M) și de **10,25%** pentru fracția de mărime mică (S), cu scopul obținerii unei pâini cu atributele de calitate dorite (tabelul 8.3).

Pe baza acestor formulări optime, s-au obținut cele mai bune caracteristici tehnologice ale făinii compozit, aluatului și pâinii. În comparație cu proba martor, probele optime au fost caracterizate de valori mai scăzute pentru stabilitatea aluatului, stabilitatea gelului de amidon fierbinte, retrogradarea amidonului, extensibilitatea aluatului, energia de deformare, modulul de elasticitate, temperatura maximă de gelatinizare și volumul pâinii. Pe de altă parte, timpul de dezvoltare al aluatului, denaturarea proteinelor, raportul alveografic, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor, volumul total de gaze format în aluat și reținut în aluat, coeficientul de reținere a gazelor în aluat și fermitatea pâinii au prezentat valori mai mari pentru probele optime comparativ cu martorul. Aceste diferențe s-ar putea datora aportului de proteine fără gluten, lipide, minerale și carbohidrați din fracțiile făinii de hrișcă și a interacțiunilor acestora în matricea aluatului (Coțovanu și Mironeasa, 2021). Creșterea modulelor G' și G'' pentru proba cu particule de dimensiune mare a făinii de hrișcă față de proba martor se poate datora efectului limitat de plastifiere care favorizează agregarea de gluten și determină un comportament mai elastic al acestei probe (Coțovanu și colab., 2022). Pentru probele cu particule de dimensiune medie și mică a făinii de hrișcă s-a observat o scădere a G' față de proba martor. Factorul de vâscozitate pentru probele de aluat obținute din făina compozit grâu-hrișcă optimă, pentru fracțiile mici și medii a prezentat valori mai reduse decât proba martor, în schimb proba din făina compozit optimă cu fracție mare a particulelor a prezentat valori mai mari decât cele caracteristice aluatului din făină de grâu. Cea mai redusă creștere a modulelor vâsco-elastice s-a obținut în proba optimă cu particule mari iar cea mai mare, în proba optimă cu particule medii, variații care probabil sunt influențate de conținutul de α -amilază din făina compozit. Un conținut mai mare de α -amilază va determina o creștere mai redusă a modulelor (Codina și colab., 2012). O rezistență mai mică la deformare față de proba martor s-a obținut în cazul probei optime cu particule medii, urmată de probele cu particule mici și mari.

Tabelul 8.3. Caracteristicile făinii compozit grâu-hrișcă, parametrilor reologici ai aluatului și caracteristicile pâinii obținute din optimizarea dozei de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de hrișcă

Caracteristica	O_HL		O_HM		O_HS	
	Valori prețise	Valori experimentale	Martor	Valori prețise	Valori experimentale	Martor
	9,13	9,13		10,25	10,25	
Doza de adaos (%)	318,81 ± 9,38 ^s	317,22 ± 8,45 ^{vo}	312,00 ± 5,25 ^a	318,48 ± 9,38 ^s	316,52 ± 8,15 ^{vo}	312,00 ± 5,25 ^a
FN (s)	58,28 ± 0,17 ^s	59,50 ± 0,20 ^{ai}	58,50 ± 0,02 ^a	58,31 ± 0,17 ^s	58,55 ± 0,50 ^{ai}	58,50 ± 0,02 ^a
WA (%)	3,08 ± 0,80 ^s	2,85 ± 0,55 ^{vo}	1,69 ± 0,75 ^a	3,02 ± 0,80 ^s	2,95 ± 0,50 ^{vo}	1,69 ± 0,75 ^a
DT (min)	9,10 ± 0,75 ^s	9,25 ± 0,66 ^{ai}	9,96 ± 0,65 ^o	9,46 ± 1,66 ^s	9,50 ± 2,15 ^{ai}	9,96 ± 0,65 ^o
ST (min)	0,66 ± 0,03 ^s	0,63 ± 0,02 ^{ai}	0,61 ± 0,02 ^a	0,66 ± 0,03 ^s	0,64 ± 0,02 ^{ai}	0,61 ± 0,02 ^a
CL-2 (N·m)	1,31 ± 0,03 ^s	1,35 ± 0,03 ^{ai}	1,41 ± 0,03 ^a	1,33 ± 0,03 ^s	1,40 ± 0,01 ^{ai}	1,41 ± 0,03 ^a
C3-2 (N·m)	0,12 ± 0,03 ^s	0,127 ± 0,02 ^{vo}	0,05 ± 0,04 ^a	0,11 ± 0,03 ^s	0,115 ± 0,02 ^{vo}	0,05 ± 0,04 ^a
C3-4 (N·m)	0,92 ± 0,07 ^s	0,95 ± 0,10 ^{ai}	1,15 ± 0,01 ^o	0,94 ± 0,07 ^s	0,92 ± 2,01 ^{ai}	1,15 ± 0,01 ^o
C5-4 (N·m)	79,64 ± 4,57 ^s	80,52 ± 10,15 ^{ai}	87,00 ± 5,75 ^o	79,84 ± 4,57 ^s	82,05 ± 3,57 ^{ai}	87,00 ± 5,75 ^o
P (mm H ₂ O)	49,22 ± 12,42 ^s	51,55 ± 9,50 ^{ai}	91,00 ± 10,50 ^o	51,05 ± 12,42 ^s	52,50 ± 8,52 ^{ai}	91,00 ± 10,50 ^o
L (mm)	125,81 ± 18,22 ^s	130,58 ± 15,10 ^{ai}	253,00 ± 20,14 ^o	130,87 ± 18,22 ^s	127,58 ± 5,58 ^{ai}	253,00 ± 20,14 ^o
W (10 ⁻⁴)	1,50 ± 0,49 ^s	1,47 ± 0,50 ^{ai}	0,95 ± 0,05 ^a	1,00 ± 0,49 ^s	0,97 ± 0,52 ^{ai}	0,95 ± 0,05 ^a
P/L (adim.)	72,77 ± 3,71 ^s	75,25 ± 2,25 ^{vo}	62,00 ± 4,25 ^a	72,77 ± 3,71 ^s	71,25 ± 6,23 ^{vo}	62,00 ± 4,25 ^a
H'm (mm)	1335,08 ± 100,30 ^s	1345,05 ± 85,25 ^{vo}	1168,00 ± 89,56 ^a	1335,08 ± 100,30 ^s	1295,45 ± 120,40 ^{vo}	1168,00 ± 89,56 ^a
VT (mL)	1197,38 ± 64,07 ^s	1200,45 ± 50,95 ^{vo}	991,00 ± 85,25 ^a	1183,18 ± 64,07 ^s	1128,50 ± 595,25 ^{vo}	991,00 ± 85,25 ^a
VR (mL)	90,96 ± 2,23 ^s	91,45 ± 1,45 ^{vo}	84,80 ± 2,5 ^a	90,67 ± 2,23 ^s	90,85 ± 4,75 ^{vo}	84,80 ± 2,5 ^a
CR (%)	26575,10 ± 173,90 ^s	26952,25 ± 214,78 ^{vo}	26370,00 ± 180,00 ^a	26469,11 ± 176,09 ^s	26950,15 ± 265,45 ^{vo}	26370,00 ± 180,00 ^a
G' (Pa)	9812,6 ± 681,08 ^s	9647,25 ± 685,45 ^{vo}	9488,00 ± 74,58 ^a	9784,61 ± 681,08 ^s	9850,45 ± 456,52 ^{vo}	9488,00 ± 74,58 ^a
G'' (Pa)	0,360 ± 0,01 ^s	0,358 ± 0,01 ^{ai}	0,360 ± 0,02 ^o	0,370 ± 0,01 ^s	0,360 ± 0,05 ^{ai}	0,356 ± 0,02 ^a
tan δ (adim.)	80,58 ± 0,91 ^s	80,25 ± 1,00 ^{ai}	83,24 ± 0,55 ^o	80,60 ± 0,91 ^s	81,25 ± 0,52 ^{ai}	83,24 ± 0,55 ^o
T _{max} (°C)	24,08 ± 3,57 ^o	23,25 ± 2,25 ^{ai}	24,50 ± 4,50 ^o	23,80 ± 3,57 ^o	22,80 ± 1,50 ^{ai}	24,50 ± 4,50 ^o
Jc _{max} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	16,11 ± 2,07 ^s	15,55 ± 1,50 ^{ai}	16,62 ± 2,40 ^o	15,95 ± 2,07 ^s	16,75 ± 1,50 ^{vo}	16,62 ± 2,40 ^o
Jr _{max} (10 ⁻³ Pa ⁻¹)	357,55 ± 27,68 ^s	363,19 ± 22,25 ^{ai}	372,20 ± 15,25 ^o	360,55 ± 27,68 ^s	360,25 ± 25,45 ^{ai}	372,20 ± 15,25 ^o
BV (cm ³)	6,33 ± 3,04 ^s	6,23 ± 2,45 ^{ai}	7,55 ± 3,00 ^o	6,04 ± 3,04 ^s	6,08 ± 2,35 ^{ai}	7,55 ± 3,00 ^o
BH (N)						

O_HL, O_HM, O_HS – proba optimă de făină compozit grâu-hrișcă cu particule de mărime mare, medie și mică a făinii de hrișcă. Valorile medii aflate pe același rând urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$); x-y pentru diferențele dintre valorile prezise și cele experimentale și a-b pentru diferențele dintre valorile experimentale și proba martor. FN – falling number; WA – capacitatea de absorbție a apei; DT – timp de dezvoltare; ST – stabilitate la amoniu; CL-2 – faza de denaturare a proteinelor; C3-2 – faza de gelatinizare a amidonului; C3-4 – stabilitatea gelului fierbinte de amidon; C5-4 – faza de retrogradare a amidonului; P – tenacitatea aluatului; L – extensibilitatea aluatului; V – energia de deformare; P/L – raport alveografic; H'm – înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT – volumul total de gaze format în aluat; VR – volumul de gaze reținut de aluat; CR – coeficientul de reținere a gazelor în aluat; G' – modul de elasticitate; G'' – modul de viscozitate; tan δ – factor de viscozitate; T_{max} – temperatura maximă de gelatinizare; Jc_{max} – complianța maximă în faza de fluaj; Jr_{max} – complianța maximă în faza de revenire; BV – volumul pâinii; BH – fermitatea pâinii.

Caracteristicile fizice ale pâinilor obținute din făina compozit optimă pentru fiecare din mărimile de particule studiate ale făinii de pseudocereale

Parametrii fizici ai pâinilor obținute cu doza optimă (O) de adaos de amarant (A), quinoa (Q) și hrișcă (H) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu sunt prezentați în tabelul 8.4.

Tabelul 8.4. Parametrii fizici ai pâinilor cu doza optimă (O) de adaos de amarant (A), quinoa (Q) și hrișcă (H) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu

Proba de pâine	Volumul pâinii (cm ³)	Volum specific (cm ³ /g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Martor	352,20 ± 15,25 ^c	2,45 ± 0,25 ^b	64,22 ± 5,62 ^c	91,70 ± 6,52 ^d
O_AL	361,10 ± 6,71 ^a	2,55 ± 0,50 ^a	70,48 ± 4,75 ^a	95,91 ± 8,52 ^a
O_AM	352,92 ± 14,04 ^b	2,47 ± 0,27 ^b	67,33 ± 7,28 ^b	94,98 ± 2,45 ^b
O_AS	348,77 ± 1,50 ^c	2,35 ± 0,85 ^c	66,89 ± 5,62 ^c	94,32 ± 8,45 ^c
Martor	352,20 ± 15,25 ^d	2,45 ± 0,25 ^c	64,22 ± 5,62 ^d	91,70 ± 6,52 ^d
O_QL	407,90 ± 25,89 ^a	3,22 ± 0,25 ^a	73,92 ± 6,35 ^a	95,83 ± 5,45 ^a
O_QM	391,91 ± 25,50 ^c	2,81 ± 0,62 ^c	70,54 ± 5,75 ^c	95,14 ± 8,55 ^c
O_QS	392,82 ± 25,45 ^b	2,82 ± 0,71 ^b	72,64 ± 4,78 ^b	95,72 ± 4,65 ^b
Martor	352,20 ± 15,25 ^d	2,45 ± 0,25 ^c	64,22 ± 5,62 ^c	91,70 ± 6,52 ^d
O_HL	373,19 ± 22,25 ^a	2,76 ± 0,35 ^a	73,75 ± 5,85 ^a	94,28 ± 8,45 ^a
O_HM	370,25 ± 25,45 ^b	2,74 ± 0,10 ^a	73,99 ± 4,78 ^a	93,58 ± 5,52 ^b
O_HS	362,51 ± 58,70 ^c	2,55 ± 0,52 ^b	72,57 ± 2,75 ^b	92,41 ± 4,78 ^c

O_AL – pâine cu adaos de 9,41% făină de amarant la mărimea particulei L; O_AM – pâine cu adaos de 9,39% făină de amarant la mărimea particulei M; O_AS – pâine cu adaos de 7,89% făină de amarant la mărimea particulei S; O_QL – pâine cu adaos de 9,13% făină de quinoa la mărimea particulei L; O_QM – pâine cu adaos de 10,57% făină de quinoa la mărimea particulei M; O_QS – pâine cu adaos de 10,25% făină de quinoa la mărimea particulei S; O_HL – pâine cu adaos de 8,78% făină de hrișcă la mărimea particulei L; O_HM – pâine cu adaos de 9,20% făină de hrișcă la mărimea particulei M; O_HS – pâine cu adaos de 8,62% făină de hrișcă la mărimea particulei S. Valorile medii aflate pe aceeași coloană urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Volumul probelor de pâine a scăzut odată cu creșterea dozei de adaos. În ceea ce privește porozitatea și elasticitatea miezului de pâine cu făinuri de amarant, cel mai bun rezultat a fost obținut pentru fracția mare.

Pentru pâinile cu doză optimă de adaos de făină de quinoa, cele mai bune rezultate în ceea ce privește parametrii tehnologici ai pâinii, au fost obținute la adaosul fracțiilor de dimensiuni mari, însă toate fracțiile au influențat în mod pozitiv volumul probelor, fiind semnificativ mai mare decât martorul.

Pâinile obținute în urma procesului de optimizare a adaosului făinii de hrișcă la diferite dimensiuni de fracții au prezentat valori ale volumului pâinii mai mari decât a probei martor pentru toate cele trei fracții de HF utilizate. Volumul pâinii a crescut odată cu creșterea mărimii particulei, ceea ce a îmbunătățit în același timp și porozitatea și elasticitatea miezului de pâine.

Determinarea parametrilor de textură ai pâinilor optime

Parametrii de textură ai pâinilor obținute cu doza optimă (O) de adaos de amarant (A), quinoa (Q) și hrișcă (H) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu sunt prezentați în tabelul 8.5.

Tabelul 8.5. Parametrii de textură ai pâinilor cu doză optimă (O) de adaos de amarant (A), quinoa (Q) și hrișcă (H) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu cei ai pâinii din făină rafinată de grâu

Proba de pâine	Fermitate (N)	Elasticitate (Adim.)	Coezivitate (Adim.)	Gumozitate (N)	Reziliență (Adim.)	Masticabilitate (N)
Martor	5,71 ± 0,02 ^c	1,3457 ± 0,27 ^a	0,8575 ± 0,01 ^a	499,73 ± 4,63 ^a	1,8278 ± 0,00 ^{ab}	499,73 ± 4,63 ^a
O_AL	5,25 ± 0,26 ^d	1,0740 ± 0,10 ^d	0,8202 ± 0,01 ^b	455,43 ± 41,67 ^a	1,6270 ± 0,00 ^b	455,43 ± 41,67 ^a
O_AM	6,08 ± 0,03 ^b	1,0000 ± 0,00 ^b	0,8264 ± 0,02 ^b	511,96 ± 11,56 ^a	2,1453 ± 0,49 ^a	511,96 ± 11,56 ^a
O_AS	6,63 ± 0,01 ^a	1,1200 ± 0,03 ^b	0,8314 ± 0,00 ^b	498,42 ± 35,62 ^a	2,0295 ± 0,06 ^a	498,42 ± 35,62 ^a
Martor	5,71 ± 0,02 ^a	1,3457 ± 0,27 ^a	0,8575 ± 0,01 ^a	499,73 ± 4,63 ^a	1,8278 ± 0,00 ^{ab}	499,73 ± 4,63 ^a
O_QL	4,74 ± 0,11 ^c	1,0000 ± 0,00 ^b	0,8629 ± 0,03 ^a	179,74 ± 14,60 ^b	1,6117 ± 0,09 ^b	179,74 ± 14,60 ^b
O_QM	4,43 ± 0,06 ^d	1,0008 ± 0,00 ^b	0,8731 ± 0,02 ^a	205,76 ± 20,22 ^b	1,9724 ± 0,04 ^a	205,76 ± 20,22 ^b
O_QS	5,39 ± 0,09 ^b	1,0009 ± 0,00 ^b	0,8690 ± 0,01 ^a	173,13 ± 14,83 ^b	2,0003 ± 0,19 ^a	173,13 ± 14,83 ^b
Martor	5,71 ± 0,02 ^a	1,3457 ± 0,27 ^a	0,8575 ± 0,01 ^a	499,73 ± 4,63 ^a	1,8278 ± 0,00 ^a	499,73 ± 4,63 ^a
O_HL	3,68 ± 0,06 ^b	1,1196 ± 0,00 ^b	0,8492 ± 0,03 ^a	212,33 ± 17,70 ^c	1,9335 ± 0,17 ^a	212,33 ± 17,70 ^b
O_HM	3,64 ± 0,26 ^b	1,0157 ± 0,00 ^{bc}	0,8376 ± 0,03 ^a	221,58 ± 12,54 ^c	1,9323 ± 0,07 ^a	221,58 ± 12,54 ^b
O_HS	3,78 ± 0,02 ^b	0,8115 ± 0,00 ^c	0,8570 ± 0,00 ^a	253,19 ± 13,00 ^b	1,8114 ± 0,06 ^a	253,19 ± 13,00 ^b

O_AL – pâine cu adaos de 9,41% făină de amarant la mărimea particulei L; O_AM – pâine cu adaos de 9,39% făină de amarant la mărimea particulei M; O_AS – pâine cu adaos de 7,89% făină de amarant la mărimea particulei S; O_QL – pâine cu adaos de 9,13% făină de quinoa la mărimea particulei L; O_QM – pâine cu adaos de 10,57% făină de quinoa la mărimea particulei M; O_QS – pâine cu adaos de 10,25% făină de quinoa la mărimea particulei S; O_HL – pâine cu adaos de 8,78% făină de hrișcă la mărimea particulei L; O_HM – pâine cu adaos de 9,20% făină de hrișcă la mărimea particulei M; O_HS – pâine cu adaos de 8,62% făină de hrișcă la mărimea particulei S. Valorile medii aflate pe aceeași coloană urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Conform datelor experimentale obținute în urma analizei parametrilor de textură a probele de pâine optime, s-au observat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între fermitatea miezului de pâine cu fracții de AF în comparație cu martorul. S-a obținut o creștere graduală a fermității în probele de pâine odată cu reducerea dimensiunii particulei, proba de pâine cu particula mare a AF a prezentat valori mai reduse a fermității. Elasticitatea probelor de pâine cu doză optimă de amarant a scăzut în următoarea ordine: $M < L < S$, diferențe semnificative au existat între probele optime și martor, însă nu s-au obținut diferențe semnificative între probele cu particule medii și mici.

În ceea ce privește coezivitatea probelor de pâine, s-au obținut diferențe semnificative doar între probele optimizate cu AF și martor, în timp ce între probele cu fracții diferite au fost înregistrate diferențe nesemnificative. Pentru parametrii gumozitate și masticabilitate, au fost înregistrate diferențe nesemnificative între probele de pâine și martor.

Toate probele obținute cu fracțiile făinii de quinoa au prezentat o fermitate mai redusă decât a probei martor, iar în funcție de mărimea particulei, fermitatea pâinilor optime a scăzut în următoarea ordine: $S < L < M$. Elasticitatea, gumozitatea, masticabilitatea și reziliența probelor de pâine nu au prezentat diferențe semnificative în funcție de mărimea particulei ci doar față de martor, în schimb, pentru parametrul coezivitate, probele optime au prezentat diferențe nesemnificative atât între ele cât și față de martor.

Probele de pâine cu doză optimă de adaos a fracțiilor de hrișcă, au prezentat diferențe semnificative pentru fermitate, elasticitate și masticabilitate doar față de proba martor, între mărimea particulelor fiind diferențe nesemnificative pentru acești parametri de textură.

Compoziția nutrițională și valoarea energetică a pâinilor cu făină de amarant, quinoa și hrișcă la doza de adaos optimă pentru fiecare mărime a particulei studiate**Determinarea proprietăților fizico-chimice ale pâinilor cu făină de amarant, quinoa și hrișcă la doza de adaos optimă pentru fiecare mărime a particulei**

Proprietățile fizico-chimice ale pâinilor fabricate din făinurile compozit optime pentru fiecare fracție de pseudocereale în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu sunt prezentate în tabelul 8.6.

Tabelul 8.6. Proprietățile fizico-chimice ale pâinilor cu doza optimă (O) de adaos a făinii de amarant (A), quinoa (Q) și hrișcă(H) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în făina de grâu în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (Martor)

Proba de pâine	Umiditate (%)	Proteine (%)	Lipide (%)	Cenușă (%)	Carbohidrați (%)	Valoare energetică (kcal)
Martor	43,12 ± 0,03 ^d	8,35 ± 0,13 ^{bc}	0,01 ± 0,00 ^b	0,72 ± 0,02 ^b	47,81 ± 0,11 ^a	230,31 ± 0,22 ^a
O_AL	44,20 ± 0,07 ^a	10,58 ± 0,12 ^a	0,17 ± 0,02 ^a	0,82 ± 0,02 ^b	44,23 ± 0,04 ^c	226,320 ± 0,51 ^b
O_AM	43,95 ± 0,03 ^b	9,67 ± 0,06 ^b	0,17 ± 0,02 ^a	0,99 ± 0,01 ^a	45,23 ± 0,07 ^b	226,65 ± 0,23 ^b
O_AS	43,50 ± 0,03 ^c	8,92 ± 0,12 ^c	0,04 ± 0,02 ^b	0,99 ± 0,01 ^a	46,55 ± 0,20 ^a	227,75 ± 0,31 ^b
Martor	43,12 ± 0,03 ^{bc}	8,35 ± 0,13 ^c	0,01 ± 0,00 ^c	0,72 ± 0,02 ^b	47,81 ± 0,11 ^a	230,31 ± 0,22 ^b
O_QL	43,43 ± 0,03 ^b	9,01 ± 0,12 ^{bc}	0,09 ± 0,03 ^{bc}	0,45 ± 0,02 ^{bc}	47,02 ± 0,04 ^a	232,10 ± 0,08 ^a
O_QM	44,21 ± 0,02 ^a	9,96 ± 0,06 ^a	0,15 ± 0,02 ^a	0,82 ± 0,02 ^a	44,86 ± 0,13 ^{ab}	227,38 ± 0,05 ^{cd}
O_QS	43,02 ± 0,14 ^c	9,93 ± 0,13 ^b	0,13 ± 0,02 ^b	0,74 ± 0,03 ^b	46,17 ± 0,03 ^c	231,31 ± 0,57 ^{ab}
Martor	43,12 ± 0,03 ^b	8,35 ± 0,13 ^c	0,01 ± 0,00 ^b	0,72 ± 0,02 ^b	47,81 ± 0,11 ^a	230,31 ± 0,22 ^a
O_HL	43,23 ± 0,03 ^a	9,31 ± 0,25 ^b	0,15 ± 0,02 ^a	0,85 ± 0,02 ^a	46,46 ± 0,18 ^b	230,42 ± 0,12 ^a
O_HM	40,21 ± 0,07 ^c	10,00 ± 0,14 ^a	0,22 ± 0,02 ^a	0,85 ± 0,01 ^a	48,71 ± 0,10 ^a	230,17 ± 0,15 ^{ab}
O_HS	43,64 ± 0,19 ^a	9,70 ± 0,13 ^b	0,14 ± 0,02 ^b	0,69 ± 0,03 ^a	45,84 ± 0,06 ^a	228,97 ± 1,00 ^{bc}

O_AL – pâine cu adaos de 9,41% făină de amarant la mărimea particulei L; O_AM – pâine cu adaos de 9,39% făină de amarant la mărimea particulei M; O_AS – pâine cu adaos de 7,89% făină de amarant la mărimea particulei S; O_QL – pâine cu adaos de 9,13% făină de quinoa la mărimea particulei L; O_QM – pâine cu adaos de 10,57% făină de quinoa la mărimea particulei M; O_QS – pâine cu adaos de 10,25% făină de quinoa la mărimea particulei S; O_HL – pâine cu adaos de 8,78% făină de hrișcă la mărimea particulei L; O_HM – pâine cu adaos de 9,20% făină de hrișcă la mărimea particulei M; O_HS – pâine cu adaos de 8,62% făină de hrișcă la mărimea particulei S. Valorile medii aflate pe aceeași coloană urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Compoziția chimică a probelor de pâine obținute din făina compozit grâu-amarant optimă, corespunzătoare fiecărei mărimi de particule a făinii de amarant, a evidențiat diferențe semnificative ($p < 0,05$) atât între probe cât și față de proba martor. Rezultatele au indicat îmbunătățirea conținutului de proteine, lipide și cenușă a pâinilor din făina compozit (tabelul 8.6).

O îmbunătățire a profilului nutrițional s-a obținut și în cazul pâinilor fabricate din făinurile compozit grâu-quinoa optime. Cea mai substanțială îmbunătățire nutrițională s-a obținut în cazul pâinii cu mărimea medie a particulelor făinii de quinoa (tabelul 8.6).

Pâinile fabricate cu doza optimă de adaos în făina de grâu pentru fiecare fracție a făinii de hrișcă, au prezentat un conținut de umiditate semnificativ diferit între probe, în timp ce conținutul de proteine al probelor de pâine din făina compozit optimă a fost diferit față de cel al pâinii din făină de grâu (tabelul 8.6). Pâinea din făina compozit cu particule de mărime medi și mică a prezentat cel mai ridicat conținut de proteine.

Determinarea conținutului de aminoacizi al probelor de pâine optime

Variația conținutului în aminoacizi (AA) esențiali și neesențiali în pâinele cu doza optimă de adaos a făinii de amarant, quinoa și hrișcă, corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S), în comparație cu pâinea Martor este prezentată în figura 8.1.

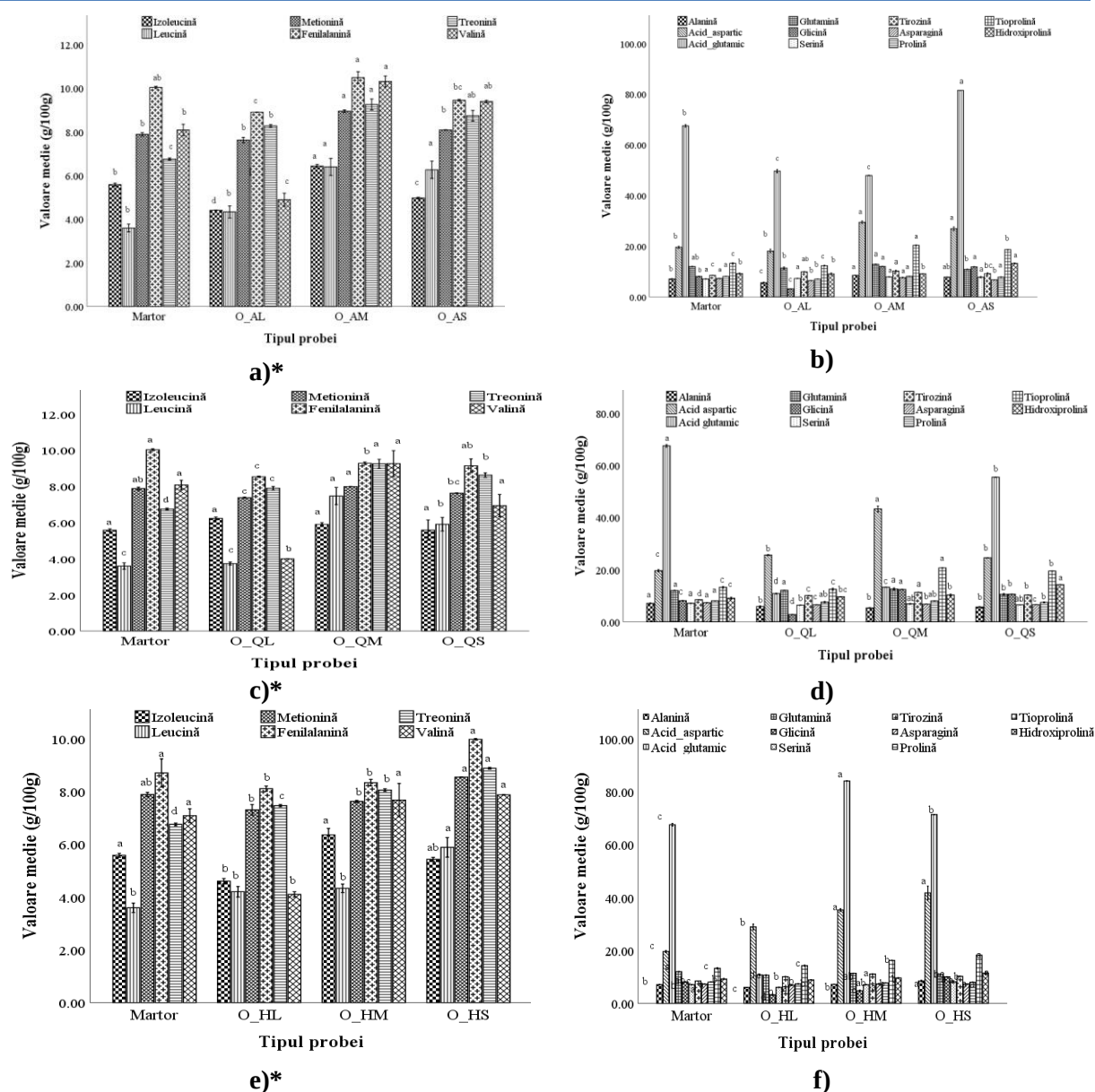


Figura 8.1. Compoziția în aminoacizi ai pâinii cu doză optimă (O) de adaos a făinii de amarant (A) (a, b), quinoa (Q) (c, d) și hrișcă (e, f) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (Martor); * indică aminoacizii esențiali

Determinarea conținutului de macro- și micro-elemente al probelor de pâine optime

Compoziția în macro- și micro-elemente ale probelor de pâine fabricate din făinurile compozit optime în comparație cu pâinea din făina rafinată de grâu este prezentă în figura 8.2.

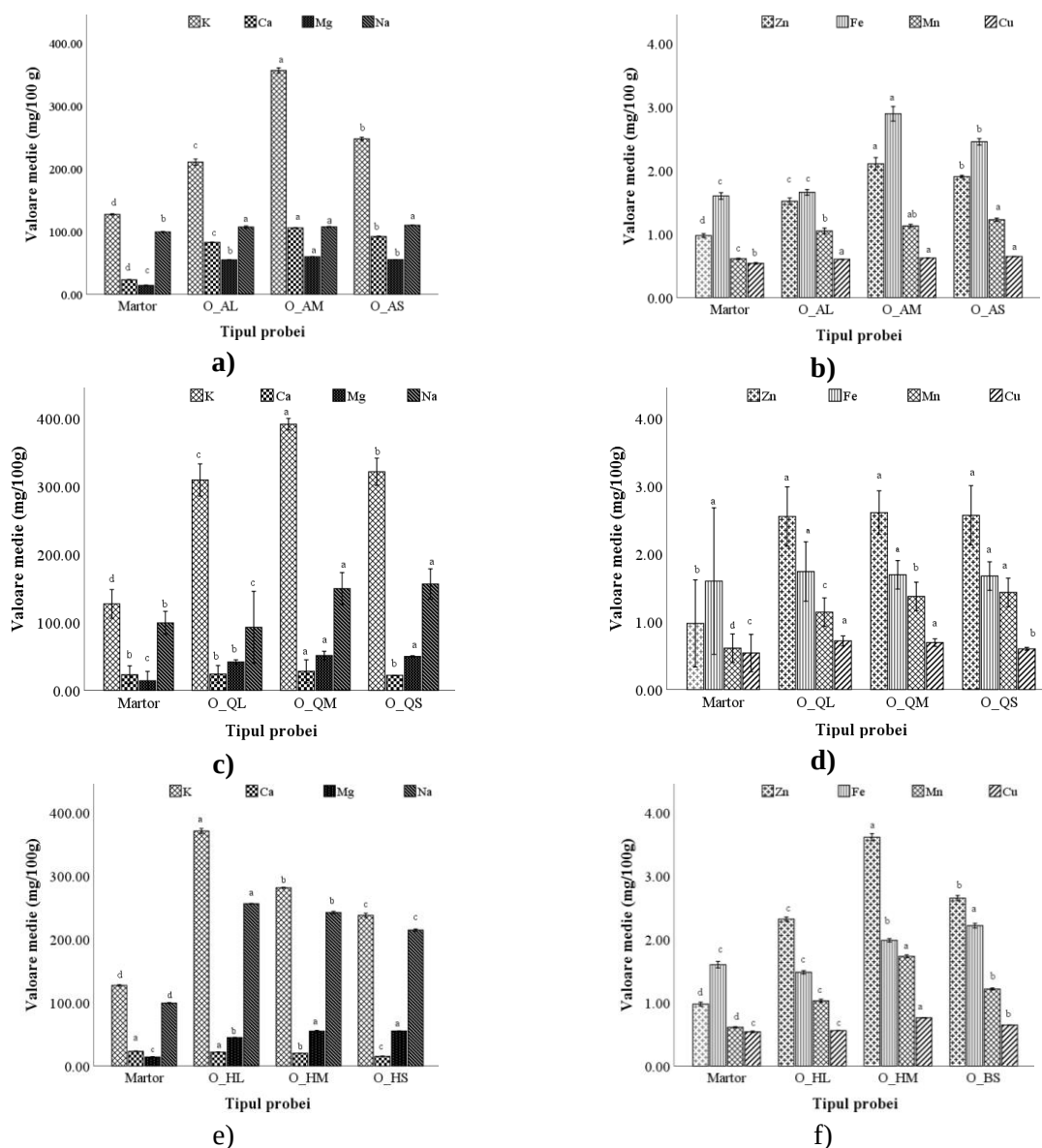


Figura 8.2. Compoziția în macro- și micro- minerale ale pâinii cu doza optimă (O) de adaos a făinii de amarant (A) (a, b), quinoa (Q) (c, d) și hrișcă (e, f) corespunzătoare particulei de mărime mare (L), medie (M) și mică (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu (Martor)

Analiza microstructurii miezului pâinilor

În figurile 8.3, 8.4, 8.5 sunt prezentate imaginile de ansamblu și în secțiune ale pâinilor fabricate, precum și microstrutura miezului, pentru fiecare fracție a făinii de pseudocereale adăugată în doza optimă în făina rafinată de grâu. Conținutul de lipide și compoziția semințelor de amarant, quinoa și hrișcă pot avea, implicații în legătură cu funcționalitatea în timpul tehnologiei de obținere a pâinii.

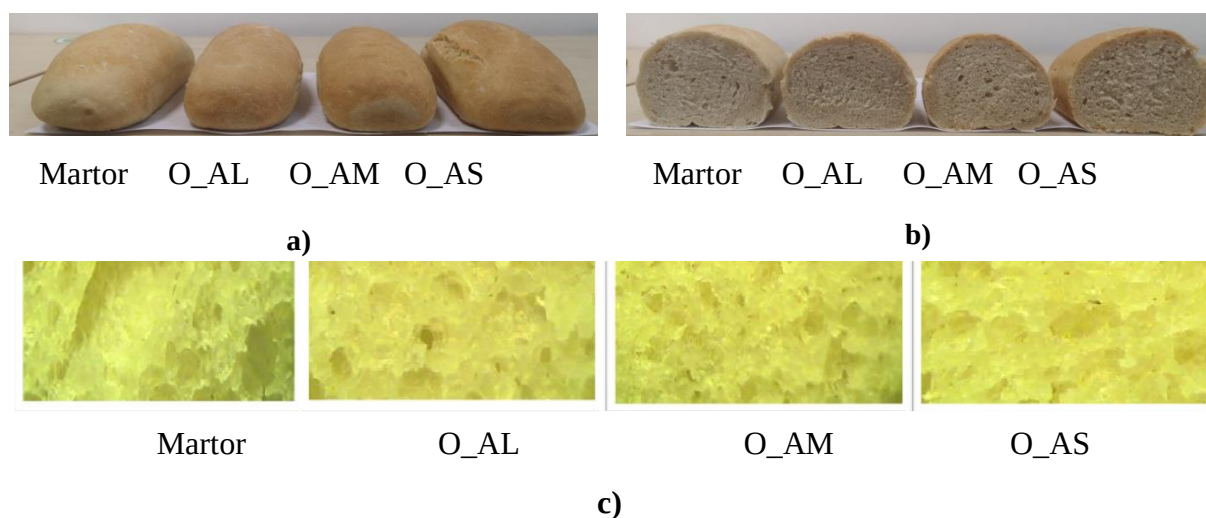


Figura 8.3. Imagine de ansamblu (a), în secțiune (b) și microstructura miezului (c) de pâine cu doza optimă (O) de adaos a făinii de amarant (A) corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S) în comparație cu proba martor

Studiile au demonstrat că lipidele polare prezente în mod natural în cereale pot contribui la stabilizarea bulelor de gaz în timpul preparării pâinii (Schober, 2009).

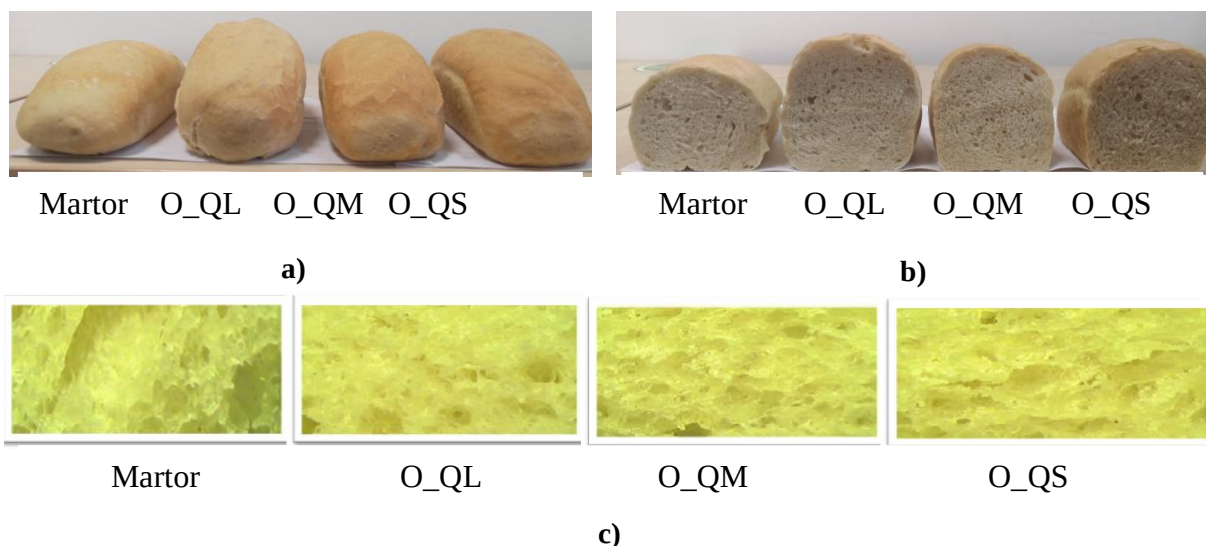


Figura 8.4. Imagine de ansamblu (a), în secțiune (b) și microstructura miezului (c) de pâine cu doza optimă (O) de adaos a făinii de quinoa (Q) corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S) în comparație cu proba martor

Raportul amiloză/amilopectină este un factor crucial în determinarea volumului pâinii și a microstructurii miezului, deoarece amiloza contribuie semnificativ la fixarea miezului datorită vitezei sale rapide de retrogradare (Schober, 2009). Conținutul de amiloză din făinurile de amarant și quinoa este mai mic decât cel al făinii de hrișcă (Alvarez-Jubete și colab., 2010).

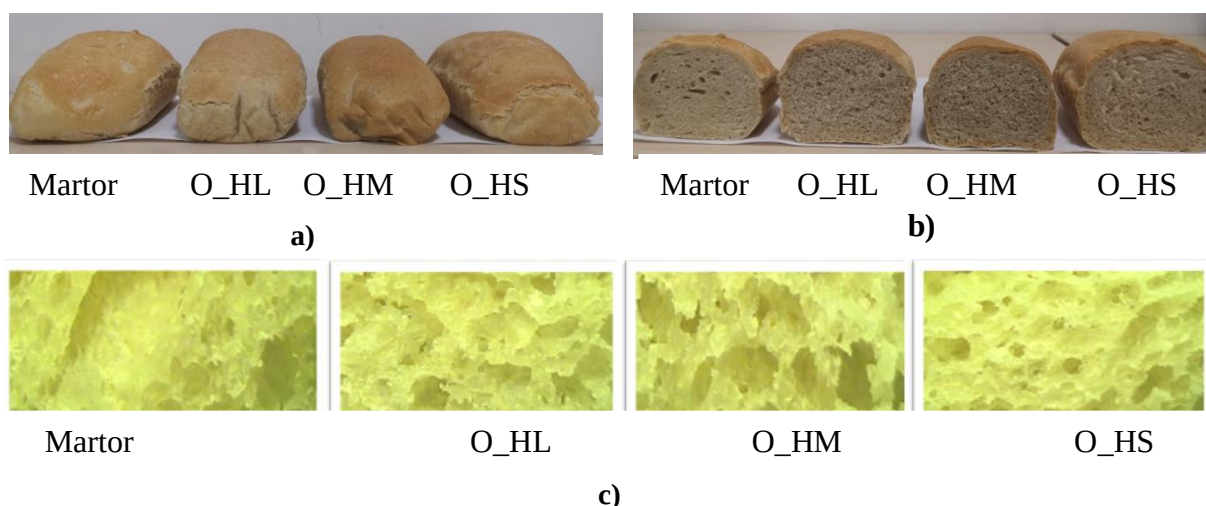


Figura 8.5. Imagine de ansamblu (a), în secțiune (b) și microstructura miezului (c) de pâine cu doză optimă (O) de adaos a făinii de hrișcă (H) corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S) în comparație cu proba martor

Rezultatele acestui studiu reliefează faptul că volumul pâinii și microstructura miezului s-au îmbunătățit odată cu creșterea cantității de amiloză a făinii de pseudocereale pseudocereale în făina compozit (figura 8.5).

Analiza senzorială a pâinilor obținute din făinurile compozit optime

Rezultatele analizei senzoriale au evidențiat unele îmbunătățiri în ceea ce privește acceptabilitatea generală, aspectul, structura miezului, gustul și mirosul pentru probele de pâine fabricate din făinurile compozit optime comparativ cu martorul (figura 8.6a, b, c).

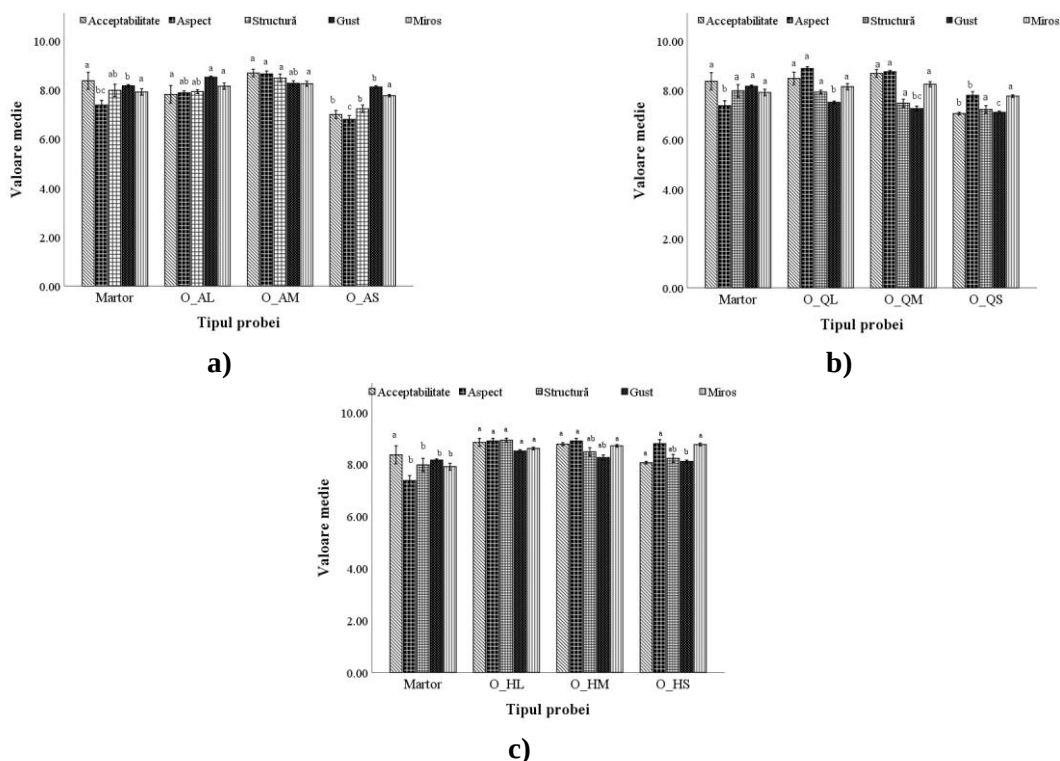


Figura 8.6. Proprietățile senzoriale ale probelor de pâine cu doză optimă (O) de adaos de amarant (A) (a), quinoa (Q) (b) și hrișcă (H) (c) corespunzătoare mărimii particulei mari (L), medii (M) și mici (S) în comparație cu pâinea din făină rafinată de grâu

Pentru pâinea din făina compozit optimă cu dimensiune mică a particulelor făinii de amarant și respectiv, făină de quinoa, s-a observat o scădere a acceptabilității senzoriale în comparație cu proba martor (figura 8.6a, b). Probele de pâine obținute din făinurile compozit grâu-hrișcă optime au prezentat pentru toate mărimile de particule o creștere a punctajului caracteristicilor senzoriale comparativ cu proba martor (figura 8.6c).

Evaluarea relațiilor dintre variabile

În cazul pâinilor fabricate cu adaos de făină de amarant la doza optimă aferentă fracțiilor de dimensiuni diferite, aplicarea analizei componentelor principale (PCA) a evidențiat relațiile directe și/sau indirecte dintre probe și compoziția chimică a făinurilor compozit grâu-amarant, parametrii reologici dinamici ai probelor de aluat, caracteristicile fizice, de textură și senzoriale ale pâinilor (figura 8.7).

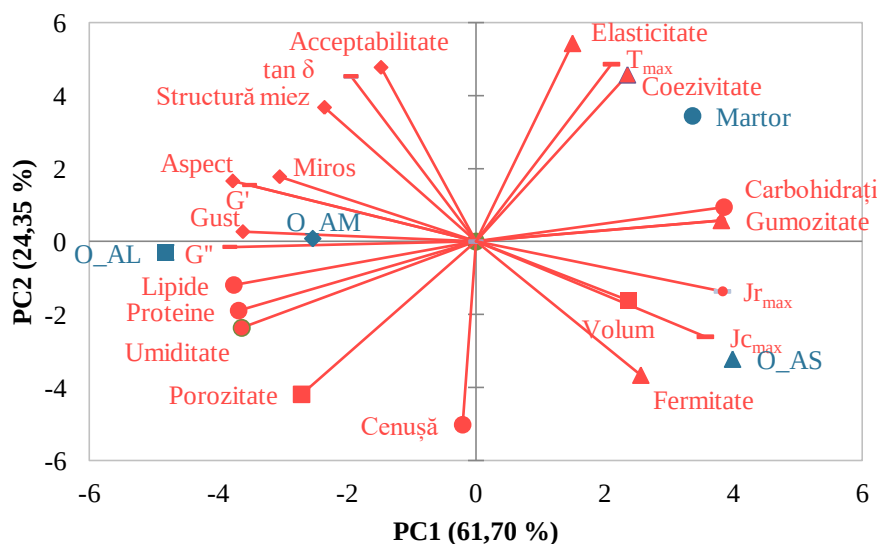


Figura 8.7. Analiza componentelor principale care evidențiază relațiile dintre compoziția chimică, parametrii reologici dinamici ai aluatului, caracteristicile fizice, de textură și senzoriale ale pâinilor cu făină de amarant la dozele optime de adaos pentru fiecare mărime de particulă studiată

În cazul probelor optime grâu-quinoa, graficul componentelor principale evidențiază relațiile dintre caracteristicile determinate și asocierea acestora cu tipul probei (figura 8.8).

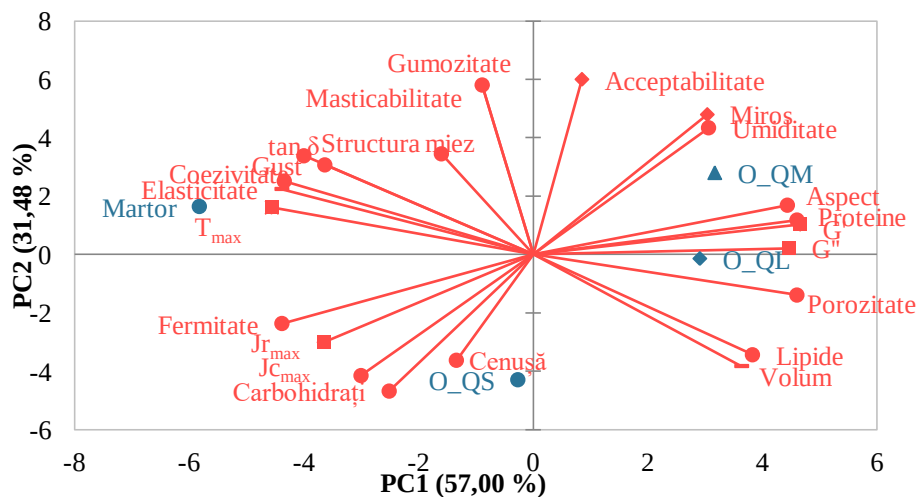


Figura 8.8. Analiza componentelor principale care evidențiază relațiile dintre compoziția chimică, parametrii reologici dinamici ai aluatului, caracteristicile fizice, de textură și senzoriale ale pâinilor cu făină de quinoa la dozele optime de adaos pentru fiecare mărime de particulă studiată

Analiza componentelor principale pentru probe de pâine cu hrișcă a evidențiat atât relațiile dintre caracteristicile evaluate cât și asocierea dintre acestea și probe (figura 8.9).

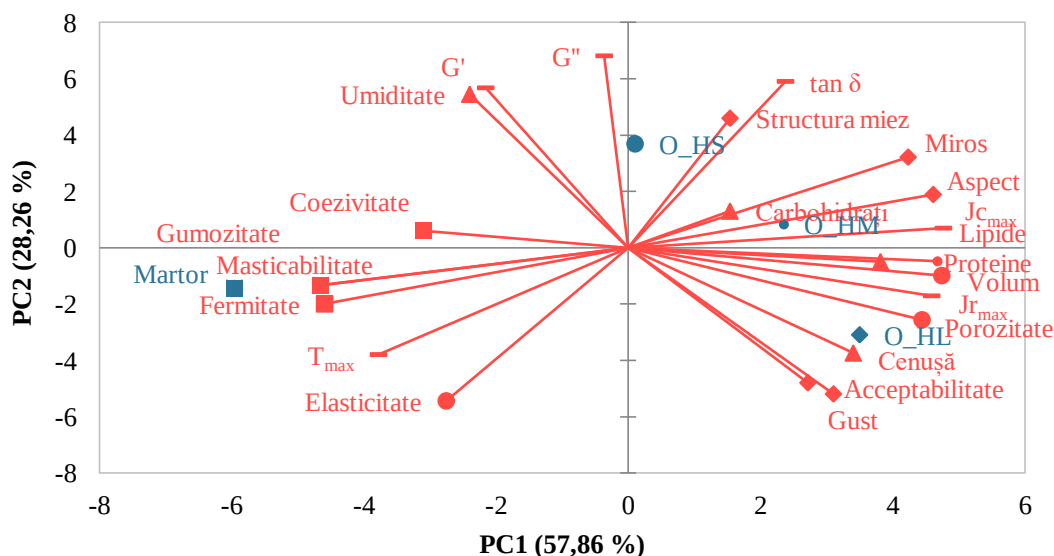


Figura 8.9. Analiza componentelor principale care evidențiază relațiile dintre compoziția chimică, parametrii reologici dinamici ai aluatului, caracteristicile fizice, de textură și senzoriale ale pâinilor cu făină de hrișcă la dozele optime de adaos pentru fiecare mărime de particulă studiată

În finalul tezei de doctorat sunt cuprinse **Concluziile finale** ale cercetării doctorale. Pâinea tradițională obținută din făină de grâu este un aliment popular în categoria produselor de panificație. Făina de grâu rafinată este cea mai folosită materie primă pentru fabricarea acestui produs alimentar, dar ea are un nivel scăzut de minerale și aminoacizi esențiali, cum ar fi lizina și treonina, și un conținut redus de fibre în comparație cu pâinea obținută din făină integrală. O alternativă la acest neajuns ar putea fi reprezentată de produsele de panificație îmbogățite cu o cantitate mare de fibre alimentare, aminoacizi și compuși bioactivi din făinuri de pseudocereale, care ajută la prevenirea bolilor asociate cu sindromul metabolic, cum ar fi bolile cardiovasculare, arterioscleroza și cancerul de colon.

Interesul pentru pseudocereale în aplicațiile alimentare a crescut în ultimii ani, deoarece oferă o compoziție nutrițională valoroasă, deoarece au un conținut calitativ de proteine din punctul de vedere al compoziției de aminoacizi. Principalele componente funcționale ale pseudocerealilor sunt fibrele alimentare, proteinele, vitaminele, acizii grași polinesaturați și alți compuși bioactivi. Pseudocerealele sunt încorporate în formulările de produse pe bază de făină de grâu pentru a îmbunătăți calitatea lor nutritivă. O caracteristică importantă a făinii de pseudocereale este că ele nu conțin prolamine, sau se regăsesc în cantități foarte mici, și prezintă globuline și albumine. Prolaminele reprezintă principalele proteine care formează glutenul și sunt cele care formează rețeaua glutenică, de aceea utilizarea făinii de pseudocereale, care nu conține gluten reprezintă o provocare din punct de vedere tehnologic. În scopul obținerii unor caracteristici tehnologice acceptabile, procesatorii aplică diverse tehnici de procesare a pseudocerealilor în vederea obținerii unor caracteristici de calitate a pâinii, cum ar fi măcinarea pseudocerealilor și obținerea de fracții diferite.

Măcinarea semințelor de pseudocereale generează fracții cu compoziții nutritive unice și proprietăți funcțional-tehnologice distincte ce pot fi utilizate ca ingrediente în formularea diferitelor produse alimentare. Reducerea mărimii particulelor prin măcinare a evidențiat o diferență semnificativă asupra profilului nutrițional, a conținutului de cenușă, proteine și amidon, iar calitatea pâinii a fost influențată de mărimea particulelor făinii de pseudocereale.

Având în vedere tendințele actuale de încorporare a făinurilor non-gluten în tehnologia de fabricare a pâinii, prezenta lucrare reliefează efectul încorporării în făina de grâu a diferitor mărimi de particule a făinii de pseudocereale, amarant, quinoa și hrișcă, la cinci doze de adaos asupra proprietăților fizico-chimice ale făinii compozit, asupra reologiei aluatului, cât și asupra calității probelor de pâine formulate.

Concluziile finale care rezidă din studiul cercetărilor științifice actuale în domeniu, a metodologiei de cercetare, precum și din rezultatele experimentale obținute includ următoarele:

- în studiile efectuate până în prezent, privind utilizarea pseudocerealelor în produse făinoase, s-a observat că acestea pot fi utilizate în dezvoltarea de noi produse de panificație la un adaos de până la 20% făină de amarant, până la 25% făină de quinoa și de până la 30% făină din hrișcă pentru a obține proprietăți acceptabile din punct de vedere senzorial;
- măcinarea și obținerea de fracții cu mărimi diferite generează făinuri cu compoziții nutritive unice și proprietăți funcționale distincte, datorită structurii și morfologiei semințelor de pseudocereale, care pot fi utilizate ca ingrediente în formularea diferitelor produse alimentare;
- întrucât pseudocerealele nu conțin gluten, pentru a obține cele mai bune proprietăți reologice ale aluatului și caracteristici de calitate ale pâinii din făină rafinată de grâu cu adaos de făină de pseudocereale, este necesară aplicarea unui proces de optimizare care are ca scop și îmbunătățirea nutrițională a produsului finit;
- laboratoarele Facultății de Inginerie Alimentară din cadrul Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava dispun de aparatura necesară pentru determinarea caracteristicilor făinurilor, a proprietăților funcțional-tehnologice, a comportamentului reologic al aluatului precum și pentru evaluarea caracteristicilor produselor finite;
- în vederea studiului efectului combinat al mărimii particulelor de pseudocereale și a dozei de adaos s-a utilizat modelul experimentul Full factorial și Metodologia suprafeței de răspuns;
- mărimea particulelor făinurilor de pseudocereale prezintă influențe diferite asupra proprietăților nutriționale, funcțional-tehnologice și de culoare ale fracțiilor;
- fracțiile mici (S) ale făinii de pseudocereale, urmate de cele medii (M), au prezentat un conținut ridicat de proteine, lipide, cenușă, potasiu, calciu, magneziu, fenilalanină, valină și acid glutamic, în timp ce particulele mari (L) prezintă un conținut ridicat de carbohidrați;
- capacitatea de absorbție și capacitatea de reținere a apei au prezentat valori mai mari pentru particule de dimensiuni medii, în timp ce particulele de dimensiuni mici au avut o capacitate de umflare mai mare;
- microstructura și proprietățile moleculare au evidențiat diferite caracteristici în funcție de dimensiunile fracțiilor făinii de pseudocereale, care vor influența formarea aluatului și procesul de coacere a pâinii;
- adaosul fracțiilor **făinii de amarant (AF)** la diferite doze de adaos în făina de grâu a influențat semnificativ reologia aluatului, evaluată prin metode empirice și dinamice, precum și caracteristicile de calitate a pâinii;
 - creșterea cantității făinii de amarant în făina rafinată de grâu a determinat *creșterea semnificativă* a: indicelui falling number, tenacității aluatului, înălțimii maxime a aluatului, volumului total de gaze și volumului de gaze

- reținut în aluat, precum și coeficientului de reținere a gazelor în aluatul, a modulelor de elasticitate și de vâscozitate și a fermității pâinii;
- creșterea dozei de adaos a făinii de amarant în făina rafinată de grâu a condus la *scăderea semnificativă* a: consistenței minime a gelului fierbinte de amidon (C4) și consistenței maxime la retrogradarea amidonului (C5), extensibilității aluatului și a energiei de deformare, temperaturii maxime de gelatinizare, complianțelor în faza de fluaj și de revenire și volumului pâinii;
 - scăderea mărimii particulei de AF a condus la *creșterea semnificativă* a: capacității de hidratare a făinii, timpului de dezvoltare și a stabilității aluatului, a tenacității aluatului, parametrilor reologici dinamici, fermității pâinii, dar a determinat *reducerea* consistenței minime la denaturarea proteinelor (C2) și consistența maximă la gelatinizarea amidonului (C3), a modulului de vâscozitate și a volumului pâinii;
 - adaosul fracțiilor **făinii de quinoa (QF)** la diferite doze de adaos în făina de grâu a influențat considerabil comportamentul reologic al aluatului determinat prin metode empirice și dinamice, precum și caracteristicile de calitate a pâinii;
 - creșterea cantității de făină de quinoa în făina rafinată de grâu a determinat *creșterea semnificativă* a: tenacității și raportului alveografic al aluatului, parametrilor de fermentare, modulelor de elasticitate și vâscozitate, durității aluatului, temperaturii maxime de gelatinizare și a fermității pâinii;
 - creșterea dozei de adaos a făinii de quinoa în făina rafinată de grâu a condus la *scăderea semnificativă* a: extensibilității și energiei de deformare, factorului de vâscozitate, complianțelor la fluaj și la revenire, adezivității, elasticității și coezivității aluatului, volumului, porozității și elasticității pâinii;
 - scăderea mărimii particulei de QF a condus la *creșterea semnificativă* a: indicelui Falling number, a capacității de hidratare a făinii și a vitezei de înmuiere a proteinelor (C1-2), a coeficientului de reținere a gazelor în aluat, temperaturii maxime de gelatinizare, dar a *scăzut semnificativ*: gelatinizarea amidonului (C3-2), rata de stabilitate a gelului fierbinte de amidon (C3-4), viteza de retrogradare a amidonului (C5-4), volumul și fermitatea pâinii.
 - adaosul fracțiilor **făinii de hrișcă (HF)** la diferite doze în făina de grâu a influențat considerabil comportamentul reologic al aluatului, precum și caracteristicile de calitate a pâinii;
 - creșterea cantității de făină de hrișcă în făina rafinată de grâu a determinat *creșterea semnificativă* a: timpului de dezvoltare a aluatului și stabilității gelului de amidon, raportului alveografic, parametrilor de fermentare, complianțelor maxime la fluaj și la revenire și fermitatea pâinii;
 - creșterea dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina rafinată de grâu a condus la *scăderea semnificativă* a: vitezei de înmuiere a proteinelor, extensibilității aluatului, a energiei de deformare și a factorului de vâscozitate, dar și a volumului, porozității și elasticității pâinii;
 - scăderea mărimii particulei de HF a condus la *creșterea semnificativă* a: capacității de hidratare a făinii, vâscozității aluatului în timpul etapei de gelatinizare și retrogradare a amidonului, modulului de elasticitate și fermității

pâinii, dar a scăzut activitatea α -amilazei, modulul de vâscozitate, parametrii reofermentometrici și volumul pâinii;

- în urma *optimizării dimensiunii particulei și a dozei de adaos a făinii de amarant în făina de grâu* au rezultat următoarele doze de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de amarant: **9,41%**, pentru fracția de mărime mare (L), **9,39%** pentru fracția de mărime medie (M) și **7,89%** pentru fracția de mărime mică (S);
- în urma procesului de *optimizare a dimensiunii particulei și a dozei de adaos a făinii de quinoa în făina de grâu* au rezultat următoarele doze de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de quinoa: **8,78%** pentru fracția de mărime mare (L), de **9,20%** pentru fracția de mărime medie (M) și de **8,62%** pentru mărimea mică (S);
- în urma procesului de *optimizare a dimensiunii particulei și a dozei de adaos a făinii de hrișcă în făina de grâu* au rezultat următoarele doze de adaos pentru fiecare mărime a particulei făinii de hrișcă: **9,13%** pentru fracția de mărime mare (L), **10,57%** pentru fracția de mărime medie (M) și **10,25%** pentru fracția de mărime mică (S);
- înlocuirea parțială a făinii de grâu cu particule de mărimi mici și medii ale făinurilor de pseudocereale a determinat creșterea conținutului de proteine, aminoacizi și minerale în pâine odată cu creșterea dozei făinurilor de pseudocereale, datorită contribuției în constituenții chimici ai fiecărei dimensiuni a particulelor;
- lipidele și cenușa au crescut în toate probele de pâine optime, în timp ce carbohidrații urmează o tendință inversă, ușor neregulată; cel mai scăzut conținut de carbohidrați s-a obținut pentru pâinea cu particule mari ale făinii de amarant, iar cel mai mare, pentru pâinea cu particule mici ale făinii de quinoa;
- pâinile fabricate din făinurile compozit optime au prezentat proprietăți la coacere (volum, porozitate, elasticitate, fermitate, elasticitate) asemănătoare cu martorul;
- pâinile fabricate din făina compozit grâu-hrișcă optimă au indicat pentru toate mărimile de particule ale făinii de hrișcă o creștere a punctajului pentru caracteristicile senzoriale comparativ cu proba martor, în timp ce în cazul făinurilor compozit grâu-amarant și grâu-quinoa optime s-a observat o creștere a aprecierii senzoriale cu creșterea mărimii particulei.

În concluzie, substituirea făinii rafinate de grâu cu doze optime ale fracțiile făinurilor de pseudocereale pot conduce la obținerea celor mai bune proprietăți reologice ale aluatului și caracteristici fizice și senzoriale ale pâinii, odată cu îmbunătățirea profilului nutrițional al produsului.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Aguilar, E. G., Albarracín, G. D. J., Uñates, M. A., Piola, H. D., Camiña J. M., și Escudero, N. L. (2015). Evaluation of the nutritional quality of the grain protein of new amaranths varieties. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70, 21–26. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0456-3>
- Ahmed, J., Thomas, L., și Arfat, Y. A. (2019). Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International*, 116, 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.039>
- Alonso-Miravalles, L. și O'Mahony, J.A. (2018). Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. *Foods* 7, 73. <https://doi.org/10.3390/foods7050073>
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
- Bilyk, O., Bondarenko, Y., Kochubei-Lytvynenko, O., Khalikova, E., și Fain, A. (2019). Studying the effect of the integrated bread baking improver Mineral Freshness Super on consumer properties of wheat bread. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2 (11), 65-72.
- Coțovanu, I., Stoenescu, G., Mironeasa, S. (2020a). Amaranth Influence on Wheat Flour Dough Rheology: Optimal Particle Size and Amount of Flour Replacement. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(3), 366–373. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.3.366-373>
- Coțovanu, I., Batariuc, A., Mironeasa, S. (2020b). Characterization of quinoa seeds milling fractions and their effect on the rheological properties of wheat flour dough. *Applied Sciences*, 10(20), 7225. <https://doi.org/10.3390/app10207225>
- Coțovanu, I., Ungureanu-Iuga, M., Mironeasa, S. (2021). Investigation of Quinoa Seeds Fractions and Their Application in Wheat Bread Production. *Plants*, 10(10), 2150. <https://doi.org/10.3390/plants10102150>
- Coțovanu, I., și Mironeasa, S. (2021a). Buckwheat seeds: Impact of milling fractions and addition level on wheat bread dough rheology. *Applied Sciences*, 11(4), 1731. <https://doi.org/10.3390/app11041731>
- Coțovanu, I., și Mironeasa, S. (2021b). Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, 10(7), 1539. <https://doi.org/10.3390/foods10071539>
- Coțovanu, I., Mironeasa, C. și Mironeasa, S. (2022). Insights into the Potential of Buckwheat Flour Fractions in Wheat Bread Dough. *Applied Sciences*, 12(5), 2302. <https://doi.org/10.3390/app12052302>
- Coțovanu, I., și Mironeasa, S. (2022a). Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread. *Agronomy*, 12(1), 137. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010137>
- Coțovanu, I., și Mironeasa, S. (2022b). Features of Bread Made from Different Amaranth Flour Fractions Partially Substituting Wheat Flour. *Applied Sciences*, 12(2), 897. <https://doi.org/10.3390/app12020897>
- Coțovanu, I., și Mironeasa, S. (2022). Effects of molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes on dough rheology and wheat bread characteristics. *Scientific Reports*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., și Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>

- Haros, C. M., și Schoenlechner, R. (Eds.). (2017). *Pseudocereals: chemistry and technology*. John Wiley & Sons.
- Kasar, C., Thanushree, M. P., Gupta, S., și Inamdar, A. A. (2020). Milled fractions of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) from the Himalayan regions: grain characteristics, functional properties and nutrient composition. *Journal Food Science and Technology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04848-x>
- Martín-García, B., Pasini, F., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., Marconi, E., și Caboni, M. F. (2019). Use of Sieving as a Valuable Technology to Produce Enriched Buckwheat Flours: A Preliminary Study. *Antioxidants*, 8, 583. <https://doi.org/10.3390/antiox8120583>
- Mironeasa, S., Iuga, M., Zaharia, D., și Mironeasa, C. (2019). Rheological Analysis of Wheat Flour Dough as Influenced by Grape Peels of Different Particle Sizes and Addition Levels. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 228–245. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2202-6>
- Motta, C., Castanheira, I., Gonzales, G. B., Delgado, I., Torres, D., Santos, M., și Matos, A. S. (2019). Impact of cooking methods and malting on amino acids content in amaranth, buckwheat and quinoa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.10.001>
- Ramesh, D. și Prakash, J. (2020). Nutritional and functional properties of amaranth grain flour fractions obtained by differential sieving. *Progress in Chemical and Biochemical Research* 3, 272-286. <https://dx.doi.org/10.33945/SAMI/PCBR.2020.3.10>
- Roa, D. F., Santagapita, P. R., Buera, M. P. și Tolaba, M. P. (2014). Amaranth milling strategies and fraction characterization by FT-IR. *Food Bioprocess Technology*, 7, 711-718. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1050-7>
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Śmietana, M. și Haros, M. (2013) Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT – Food Science and Technology*, 50, 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.031>
- Schmidt, D.; Verruma-Bernardi, M.R.; Forti, V.A., Borges, M.T.M.R. (2021) Quinoa and Amaranth as Functional Foods: A Review. *Food Review International*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950175>
- Schoenlechner, R., Siebenhandl, S. și Berghofer, E. (2008). Pseudocereals. In E. K Arendt, & F. Dal Bello (Eds.), *Gluten-free cereal products and beverages*. London: Academic Press.
- Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., Fernández, A., Paesani, C., și Pérez, G. T. (2020). Gluten-free breadmaking affected by the particle size and chemical composition of quinoa and buckwheat flour fractions. *Food Science and Technology International*, 26(4), 321-332. <https://doi.org/10.1177/1082013219894109>
- Singh, S., Singh, R., și Singh, K. V. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), functional superfood for today's world: A Review. *World Scientific News*, 58, 84–96.
- Skrabanja, V., Liljeberg Elmstahl, H. G. M, Kreft, I. și Bjorck, I. M. E. (2001) Nutritional properties of starch in buckwheat products: studies *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 490–496.
- Steadman, K., Burgoon, M., Lewis, B. și colab. (2001). Buckwheat seed milling fractions: description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science* 33, 271–278. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0366>
- Valcárcel-Yamani, B., și Lannes, S. D. S. (2012). Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods. *Food and Public Health*, 2(6), 265-275.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., și Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>

CONTRIBUȚII ORIGINALE

Prezenta teză de doctorat constituie o contribuție solidă la creșterea valorii nutriționale, tehnologice și senzoriale a pâinii, interes prezent la întreaga comunitate științifică mondială. Utilizarea făinii de pseudocereale, amaranth, quinoa și hrișcă, la diverse mărimi ale particulelor, în vederea obținerii de produse de panificație cu un grad înalt de calitate constituie o modalitate sustenabilă și durabilă a economiei circulare. Având drept reper stadiul actual al studiilor de specialitate, teza de doctorat prezintă un grad ridicat de originalitate, oferit de metodele utilizate în determinare și rezultatele obținute, având în vedere următoarele aspecte:

- în premieră la nivel național și internațional s-a studiat influența concomitentă a mărimii particulelor făinurilor de pseudocereale (amaranth, quinoa și hrișcă) și a dozei de adaos, în vederea îmbunătățirii calității nutriționale și tehnologice a pâinii din făină rafinată de grâu tip 650;

- a fost efectuat studiul literaturii comunității științifice până la momentul actual, privind compoziția chimică a pseudocerealelor, metode de procesare prin măcinare și separarea pe fracții, efectul adaosului făinii de pseudocereale în făina de grâu pentru obținerea produselor de panificație;

- au fost evaluate caracteristicile fracțiilor făinii de pseudocereale, din punct de vedere al conținutului de aminoacizi, minerale, substanțe nutritive, precum și analiza moleculară și microstructura acestora prin comparație cu făina de grâu;

- s-a evidențiat efectul semnificativ al mărimii particulei făinurilor de pseudocereale adăugate în făina de grâu asupra calității făinurilor compozit, reologiei aluaturilor determinate prin metode empirice și dinamice și asupra calității pâinilor fabricate;

- s-a evidențiat efectul semnificativ al dozei de adaos a făinurilor de pseudocereale în făina de grâu asupra calității făinurilor compozit, a reologiei aluaturilor determinate prin metode empirice și dinamice și asupra calității pâinilor fabricate;

- s-a evidențiat efectul interacțiunii dintre mărimea particulei făinii de pseudocereale și doza de adaos în făina de grâu asupra calității făinurilor compozit, a reologiei aluaturilor și asupra calității pâinilor fabricate;

- s-au stabilit modelele matematice potrivite, pe baza rezultatelor experimentale obținute, pentru prezicerea parametrilor evaluați;

- s-au determinat dozele de adaos optime pentru mărimile de particule studiate, corespunzătoare fiecărui tip de făină de pseudocereale;

- s-au caracterizat pâinile fabricate în urma procesului de optimizare din punct de vedere fizic, textural, nutrițional, microstructural și senzorial;

- s-a efectuat o analiză a relațiilor dintre caracteristicile determinate, pentru a obține informații despre asemănările și/sau deosebiri dintre variabilele evaluate.

Astfel, prin determinările efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat s-au atins obiectivele propuse, tematica tezei fiind de un real interes pentru tehnologia produselor de panificație și pentru persoanele cu probleme asociate intoleranței la gluten, dar și pentru cei

care își doresc să consume un produs nou, cu valoare nutrițională îmbunătățită și multiple efecte benefice pentru sănătate.

Perspective și direcții de cercetare

Tematica abordată în prezenta lucrare oferă noi perspective de cercetare și desfășurarea de investigații referitoare la:

- posibilitatea utilizării altor metode de procesare a semințelor de pseudocereale (extrudare, germinare) concomitent cu separarea pe diferite fracții în vederea creșterii calității nutriționale a acestora;

- posibilitatea folosirii semințelor de pseudocereale în vederea obținerii de compuși cu digestibilitate și biodisponibilitate ridicată;

- posibilitatea utilizării fracțiilor semințelor de pseudocereale la diferite mărimi de particule în vederea dezvoltării de produse de panificație non-gluten;

- posibilitatea măcinării și separării pe fracții a altor cereale și leguminoase cu scopul de a îmbunătăți nutrițional calitatea produselor finite.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Rezultatele cercetărilor prezentate în teză s-au materializat prin publicarea a **9 articole** științifice în reviste de specialitate indexate și cotate în baze de date internaționale, dintre care 3 articole Q1 și 5 articole Q2, precum și prin comunicarea a **6 articole** la manifestări științifice cu caracter internațional.

A. Articole publicate în reviste indexate și cotate Web of Science (WoS)

1. **Coțovanu, I.**; Stoenescu, G.; Mironeasa, S. (2020), Amaranth influence on wheat flour dough rheology: optimal particle size and amount of flour replacement. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 10(3), 336 – 373, <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.3.366-373>. Indexat WoS
2. **Coțovanu, I.**; Batariuc, A.; Mironeasa, S. (2020), Characterization of Quinoa Seeds Milling Fractions and Their Effect on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough. *Applied Sciences*, 10(20), 7225, <https://doi.org/10.3390/app10207225>. Factor de impact (2020) = 2,679 (**Q2**).
3. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, S. (2021), Buckwheat Seeds: Impact of Milling Fractions and Addition Level on Wheat Bread Dough Rheology. *Applied Sciences*, 11(4), 1731, <https://doi.org/10.3390/app11041731>. Factor de impact (2020) = 2,474 (**Q2**).
4. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, S. (2021), Impact of different amaranth particle sizes addition level o wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, 10(7), 1539, <https://doi.org/10.3390/foods10071539>. Factor de impact (2021) = 4, 35 (**Q2**).
5. **Coțovanu, I.**; Ungureanu-Iuga, M.; Mironeasa, S. (2021), Investigation of Quinoa Seeds Fractions and Their Application in Wheat Bread Production. *Plants*, 10(10), 2150, <https://doi.org/10.3390/plants10102150>. Factor de impact (2021) = 3,93 (**Q1**).
6. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, S. (2022), Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread. *Agronomy*, 12(1), 137, <https://doi.org/10.3390/agronomy12010137>. Factor de impact (2021) = 3,336 (**Q1**).
7. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, S. (2022), Features of Bread Made from Different Amaranth Flour Fractions Partially Substituting Wheat Flour. *Applied Sciences*, 12(2):897, <https://doi.org/10.3390/app12020897>. Factor de impact (2021) = 2,679 (**Q2**).
8. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, C.; Mironeasa, S. (2022), Insights into the Potential of Buckwheat Flour Fractions in Wheat Bread Dough. *Applied Sciences*, 12(5), 2302, <https://doi.org/10.3390/app12052302>. Factor de impact (2021) = 2,679 (**Q2**).
9. **Coțovanu, I.**; Mironeasa, S. (2022). Investigations on molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes and their impact on wheat bread. *Scientific Reports*, 12(1), 7883, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>. Factor de impact (2021) = 4,379 (**Q1**).

B. Lucrări comunicate la manifestări științifice cu caracter internațional

1. **Coțovanu, I.** (2018), Pseudocereals as functional ingredients in breadmaking, *International Conference for Students "Student in Bucovina" 8th Edition*, 15 – 16 noiembrie, Suceava, Romania, November 15-16 2018, Student in Bucovina Abstracts, ISSN 2068-7648.

2. **Coțovanu, I.** (2019), Use of pseudocereals in wheat flour matrices to design new bakery products, The 18h International "Life Sciences for Sustainable Development", 26 – 28 Septembrie, Cluj-Napoca, în Program Booklet.
3. **Coțovanu, I.** (2020), Dynamic rheology of quinoa (*chenopodium quinoa wild*) flour dough in relation to different milling fractions, *International Conference for Students "Student in Bucovina" 9th Edition*, 18 Decembrie Suceava, Romania, Student in Bucovina Abstracts, ISSN 2068-7648.
4. **Coțovanu, I.** (2021), Buckwheat flour supplementation effect on dynamic rheology of wheat flour dough, "*Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution*", 15-16 Aprilie, Kiev, Ucraina.
5. **Coțovanu, I.** (2021), Pseudocereals para mejorar alimentacion en la panaderia – *X Seminario transdisciplinario de tesistas y otros actores locales trabajando en la cuenca Presa de Guadalupe* – online, 17-18 mai, Tlaxala, Estado de Mexico, Mexico.
6. **Coțovanu, I.** (2021), Features of bread made from different amaranth flour fractions partially substituting wheat flour, "*The 8th International Conference of Biotechnologies, Present and Perspectives*", 5 noiembrie 2021, Suceava, România, ISSN 2068-7648.