



**UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
DOMENIUL INGINERIA PRODUSELOR ALIMENTARE**



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

**Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ**

**Doctorand,
Ing. Andreea VOINEA (MUȘU)**

SUCEAVA, 2023



**UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
DOMENIUL INGINERIA PRODUSELOR ALIMENTARE**



CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA CONȚINUTULUI DE SODIU ÎN PANIFICAȚIE

**Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ**

**Doctorand,
Ing. Andreea VOINEA (MUȘU)**

SUCEAVA, 2023

Mulțumiri

Odată cu finalizarea acestei lucrări științifice, doresc să mulțumesc coordonatorului meu științific, doamnei **prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ** pentru îndrumare, înțelegere și susținere necondiționată pe tot parcursul studiilor doctorale.

Sunt profund recunoscătoare membrilor comisiei de îndrumare: **prof. univ. dr. ing. Mircea-Adrian OROIAN**, **prof. univ. dr. ing. Silvia MIRONEASA** și **prof. univ. dr. ing. Adriana DABIJA** pentru sfaturile și recomandările științifice valoroase oferite, pe întreg parcursul elaborării tezei de doctorat.

Adresez cuvinte de mulțumire și recunoștință cadrelor didactice ale Facultății de Inginerie Alimentară, în special d-ului **șef de lucrări dr. ing. Silviu-Gabriel STROE** și de asemenea colegilor de la școala doctorală, precum și prietenilor mei.

Mulțumesc soțului meu **Cosmin** pentru răbdarea, iubirea și suportul moral oferit pe tot parcursul acestor ani.

Mulțumesc de asemenea și d-ului **dr. ing. Dumitru ZAHARIA** pentru că mi-a permis să efectuez cercetările doctorale în cadrul laboratorului firmei sale S.C. Dizing S.R.L., Brusturi, jud. Neamț.

Nu în ultimul rând, dedic această teză părinților mei, **Liliana și Cătălin**, și familiei, cărora doresc să le mulțumesc pentru sprijinul permanent, educația și dragostea oferite necondiționat.

Ing. Andreea VOINEA (MUȘU)

CUPRINS

Listă de abrevieri.....	6
Scopul și obiectivele tezei de doctorat.....	7
1. Stadiul actual al cercetărilor privind reducerea conținutului de sodiu din panificație.....	9
1.1. Aspecte generale privind importanța reducerii conținutului de sodiu din pâine. Strategii de reducere.....	9
1.2. Rolul fiziologic al clorurii de sodiu și recomandările legislative privind consumul acesteia.....	11
1.2.1. Aspecte privind efectul consumului de clorură de sodiu asupra organismului uman.....	12
1.2.2. Norme legislative privind aportul zilnic recomandat de sodiu.....	13
1.2.3. Conținutul de clorură de sodiu al produselor de panificație și gradul lor de consum.....	14
1.3. Efectul tehnologic al clorurii de sodiu în procesul de obținere a pâinii.....	15
1.4. Metode pentru reducerea conținutului de sodiu din produsele de panificație.....	20
1.5. Utilizarea diferitelor tipuri de săruri minerale ca înlocuitori ai clorurii de sodiu în produsele de panificație.....	23
1.5.1. Utilizarea clorurii de calciu ca înlocuitor al clorurii de sodiu în produsele de panificație și beneficiile utilizării acesteia asupra organismului uman..	25
1.5.2. Utilizarea clorurii de magneziu ca înlocuitor al clorurii de sodiu în produsele de panificație și beneficiile utilizării acesteia asupra organismului uman.....	25
1.5.3. Utilizarea clorurii de potasiu ca înlocuitor al clorurii de sodiu în produsele de panificație și beneficiile utilizării acesteia asupra organismului uman....	26
1.6. Utilizarea aluatului acid uscat ca înlocuitor al clorurii de sodiu în produsele de panificație.....	28
1.7. Utilizarea potențiatorilor de arome ca înlocuitori ai clorurii de sodiu în produsele de panificație.....	29
1.8. Concluzii parțiale.....	30
Bibliografie.....	32
2. Cercetări privind influența adaosului diferitelor tipuri de sare asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	39
2.1. Introducere.....	39
2.2. Materiale utilizate.....	41
2.3. Metode de analiză.....	41
2.3.1. Determinarea proprietăților reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	41
2.3.2. Determinarea proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului.....	42
2.3.3. Determinarea proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării....	43
2.3.4. Obținerea pâinii.....	43
2.3.5. Evaluarea caracteristicilor de calitate ale pâinii.....	44
2.3.6. Evaluarea conținutului de sodiu din pâine.....	46
2.3.7. Analiză statistică a datelor experimentale.....	46
2.4. Rezultate și discuții.....	46
2.4.1. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	46
2.4.1.1. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de	

frământare și întindere ale aluatului.....	47
2.4.1.2. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului.....	48
2.4.1.3. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului.....	48
2.4.1.4. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii.....	49
2.4.1.5. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor de culoare ale pâinii.....	49
2.4.1.6. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor texturale ale pâinii.....	50
2.4.1.7. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor senzoriale ale pâinii.....	50
2.4.1.8. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra conținutului de sodiu al pâinii.....	51
2.4.2. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	51
2.4.2.1. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	51
2.4.2.2. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului.....	52
2.4.2.3. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului.....	53
2.4.2.4. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii.....	53
2.4.2.5. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra caracteristicilor de culoare ale pâinii.....	54
2.4.2.6. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra caracteristicilor texturale ale pâinii.....	54
2.4.2.7. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra caracteristicilor senzoriale ale pâinii.....	55
2.4.2.8. Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra conținutului de sodiu al pâinii.....	55
2.4.3. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	56
2.4.3.1. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	56
2.4.3.2. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului.....	57
2.4.3.3. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului.....	58
2.4.3.4. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii.....	59
2.4.3.5. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra caracteristicilor de culoare ale pâinii.....	60
2.4.3.6. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra caracteristicilor texturale ale pâinii.....	61
2.4.3.7. Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra caracteristicilor senzoriale ale pâinii.....	61
2.4.3.8. Efectul adaosului de a sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu	

supra conținutului de sodiu al pâinii.....	62
2.5. Concluzii parțiale.....	63
Bibliografie.....	64
3. Cercetări privind efectul substituției parțiale a clorurii de sodiu cu clorura de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	67
3.1. Introducere.....	67
3.2. Materiale și metode.....	67
3.3. Proiectarea experimentală și analiza statistică a datelor.....	68
3.4. Rezultate și discuții.....	69
3.4.1. Modelarea datelor experimentale.....	69
3.4.2. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	70
3.4.3. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului.....	72
3.4.4. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice din timpul fermentării aluatului.....	73
3.4.5. Optimizarea parametrilor reologici ai aluatului cu adaos de NaCl și KCl.....	75
3.4.6. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (1) din clorură de potasiu și clorură de sodiu.....	77
3.4.7. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (2) din clorură de potasiu și clorură de sodiu.....	79
3.4.8. Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute.....	80
3.5. Concluzii parțiale.....	80
Bibliografie.....	82
4. Cercetări privind efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.....	86
4.1. Introducere.....	86
4.2. Materiale și metode.....	87
4.3. Proiectarea experimentală și analiza statistică a datelor.....	87
4.4. Rezultate și discuții.....	89
4.4.1. Modelarea datelor experimentale.....	89
4.4.2. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	89
4.4.3. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului.....	92
4.4.4. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice din timpul fermentării aluatului.....	93
4.4.5. Optimizarea parametrilor reologici ai aluatului cu adaos de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat.....	96
4.4.6. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixurile optime din sarea din Marea Moartă cu conținut redus din sodiu și aluat acid uscat.....	99
4.4.6.1. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (1) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat.....	99
4.4.6.2. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba	

martor) și a probei obținute cu mixul optim (2) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat.....	101
4.4.6.3. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (3) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat.....	102
4.4.7. Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute.....	103
4.5. Concluzii parțiale.....	104
Bibliografie	105
5. Cercetări privind efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii	109
5.1. Introducere.....	109
5.2. Materiale și metode.....	110
5.3. Proiectarea experimentală și analiza statistică a datelor obținute.....	110
5.4. Rezultate și discuții.....	113
5.4.1. Modelarea datelor experimentale.....	113
5.4.2. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului.....	113
5.4.3. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului.....	116
5.4.4. Modelele matematice obținute pentru proprietățile reologice din timpul fermentării aluatului.....	118
5.4.5. Optimizarea parametrilor reologici ai aluatului cu adaos de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aroma (zahăr fermentat).....	120
5.4.6. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixurile optime din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	129
5.4.6.1. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (1) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	129
5.4.6.2. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (2) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	130
5.4.6.3. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (3) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	132
5.4.6.4. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (4) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	133
5.4.6.5. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (5) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	134
5.4.6.6. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (6) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	135
5.4.6.7. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (7) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	137
5.4.6.8. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba	

martor) și a probei obținute cu mixul optim (8) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	138
5.4.6.9. Caracteristicile de calitate ale probelor cu adaos de 1,5% NaCl (proba martor) și a probei obținute cu mixul optim (9) din sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă.....	139
5.4.7. Conținutul de sodiu al probelor obținute.....	140
5.5. Concluzii parțiale.....	141
Bibliografie	143
6. Concluzii generale. Contribuții originale și perspective	147
Diseminarea rezultatelor cercetării	151

LISTĂ DE ABREVIERI

a^*	intensitatea nuanței de verde (-) sau de roșu (+);
AAS	spectroscopie de absorbție atomică;
ANOVA	analiza de varianță;
b^*	intensitatea nuanței de albastru (-) sau de galben (+);
CCD	Central Composite Design;
CE	Comisie Europeană;
CR	coeficientul de retenție a gazelor în aluat, (%);
DS	gradul de înmuiere la 10 min, (UF);
DT	timpul de dezvoltare (formare) a aluatului (min);
EFSA	Autoritatea Europeană pentru Siguranța Alimentară;
Ext	Extensibilitatea aluatului, (mm);
E	Energia, definită ca aria de sub curba înregistrată la extensograf;
FS	zahăr fermentat (potențiator de aromă);
FN	indicele de cădere (Falling Number), (s);
H'm	înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare, (mm);
L^*	luminozitate;
LAB	bacterii lactice;
KCl	clorură de potasiu;
MSG	glutamatul monosodic;
OMS	Organizația mondială a sănătății;
NaCl	clorură de sodiu;
PV_{max}	vâscozitatea maximă, (UA);
R/E	raportul dintre R_m sau R_{50} și extensibilitate;
R_{max}	rezistență maximă la întindere, (UE);
R_{50}	rezistența la deformare constantă, (UE);
RSM	metodologia suprafeței de răspuns;
SD	aluat acid uscat;
SS	sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu;
ST	stabilitatea aluatului (min);
T_{max}	temperatura la vâscozitatea maxima a aluatului, (°C);
VR	volumul de retenție, volumul de CO ₂ reținut de aluat la sfârșitul testului, (mL);
VT	volumul total de gaze format în aluat, (mL);
WA	capacitatea de hidratare, (%).

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Scopul prezentei teze de doctorat a urmărit reducerea conținutului de sodiu din pâine. Pentru aceasta s-au realizat diferite studii și cercetări privind efectul adaosului diferitelor tipuri de sare precum clorura de sodiu, clorura de potasiu și sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii și s-a optimizat rețeta de obținere a pâinii utilizând proiectarea statistică a experimentelor având ca variabile independente diferite ingrediente care ar putea reduce conținutul de sodiu din pâine.

Obiectivele propuse în cadrul acestei teze de doctorat sunt:

1. Efectuarea unui studiu despre stadiul actual al cercetărilor din domeniu privind reducerea conținutului de sodiu în produsele de panificație
2. Cercetări privind efectul adaosului clorurii de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii
3. Cercetări privind efectul adaosului clorurii de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii
4. Cercetări privind efectul adaosului sării din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii
5. Cercetări privind efectul substituției parțiale a clorurii de sodiu cu clorura de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii
6. Cercetări privind efectul adaosului unui mix de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii
7. Cercetări privind efectul adaosului unui mix de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.

Cuvinte cheie:

- făină de grâu tip 650;
- clorură de sodiu;
- clorură de potasiu;
- sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu;
- aluat acid uscat;
- potențiator de aromă;
- conținut de sodiu
- proprietățile reologice ale aluatului;
- optimizare;
- pâine.

Teza de doctorat intitulată „*Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație*” cuprinde lista de abrevieri, scopul și obiectivele lucrării, cinci capitole care includ în final fiecare concluzii parțiale și bibliografie, concluziile generale ale tezei, contribuții originale și perspective, precum și diseminarea rezultatelor cercetării.

Capitolul 1 intitulat „*Stadiul actual al cercetărilor privind reducerea conținutului de sodiu în panificație*” cuprinde stadiul actual al cunoașterii din domeniu privind metodele de reducere a conținutului de sodiu din produsele de panificație dar și efectul reducerii conținutului de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.

Pâinea este un produs de bază în alimentația umană datorită valorii sale nutritive ridicate și a prețului de cost redus care se corelează cu făina de grâu din care este obținută, alte materii prime și auxiliare utilizate și tehnologia aplicată. Specialiștii din domeniul alimentar definesc pâinea ca un aliment de bază situat în partea de sus a piramidei alimentare datorită conținutului său ridicat de carbohidrați, fibre, proteine, vitamine din grupul B și substanțe minerale (Silow și colab., 2016). În majoritatea țărilor europene, pâinea este cea mai importantă sursă de sare (clorură de sodiu) în alimentație, contribuția sa la consumul de sare variind între 19,1% în Spania și 28% în Franța (Gebski și colab., 2019).

Potrivit Organizației Mondiale a Sănătății, alimentele procesate, cum ar fi produsele de panificație, sunt principala sursă zilnică de sodiu din dieta consumatorilor din țările dezvoltate, cu o medie de aproximativ 75-85% din aportul total de sodiu, în timp ce 5-10% este furnizat de alte produse alimentare care fac parte din dieta zilnică și restul de 10-15% de sodiu este furnizat de adaosul de sare din timpul preparării produselor alimentare sau al consumului acestora (Dötsch și colab., 2009).

În prezent, îngrijorările consumatorilor cu privire la aportul excesiv de sodiu și efectele asociate acestuia au crescut și de aceea unele companii de produse alimentare și-au schimbat portofoliile de produse pentru a reduce aportul de sodiu și pentru a promova diete mai sănătoase. Un exemplu în acest sens este compania Nestle, care a eliminat aproape 7500 de tone de sodiu din produsele lor începând cu 2005 (Kloss și colab., 2015).

Clorura de sodiu este una dintre materiile prime din industria panificației, care este utilizată pentru obținerea tuturor produselor de panificație, cu excepția produselor dietetice fără sare. Are un rol important asupra caracteristicilor senzoriale ale produselor de panificație, dar și asupra procesului tehnologic de obținere a pâinii. Influențează proprietățile reologice ale aluatului, activitatea enzimatică și microbiologică a acestuia și calitatea pâinii (Raffo și colab., 2018). Au fost propuse numeroase strategii de reducere a clorurii de sodiu în produsele alimentare, inclusiv a produselor de panificație, pentru a îmbunătăți sănătatea populației. Provocarea acestor strategii este de a rezolva problemele tehnologice și senzoriale cauzate de reducerea parțială sau eliminarea totală a clorurii de sodiu din rețeta produselor de panificație. Din punct de vedere tehnologic, o reducere a clorurii de sodiu de până la 0,6% poate conduce la produse de panificație fără un efect negativ semnificativ asupra proprietăților reologice ale aluatului. Cu toate acestea, efectul său asupra caracteristicilor senzoriale ale produselor de panificație poate fi o problemă datorită faptului că gustul sărat este greu de obținut (Silow și colab., 2016).

Cele mai utilizate strategii propuse pentru reducerea clorurii de sodiu în panificație sunt prezentate în Figura 1. Multe dintre acestea pot fi combinate pentru a intensifica aroma produselor de panificație și gustul sărat.

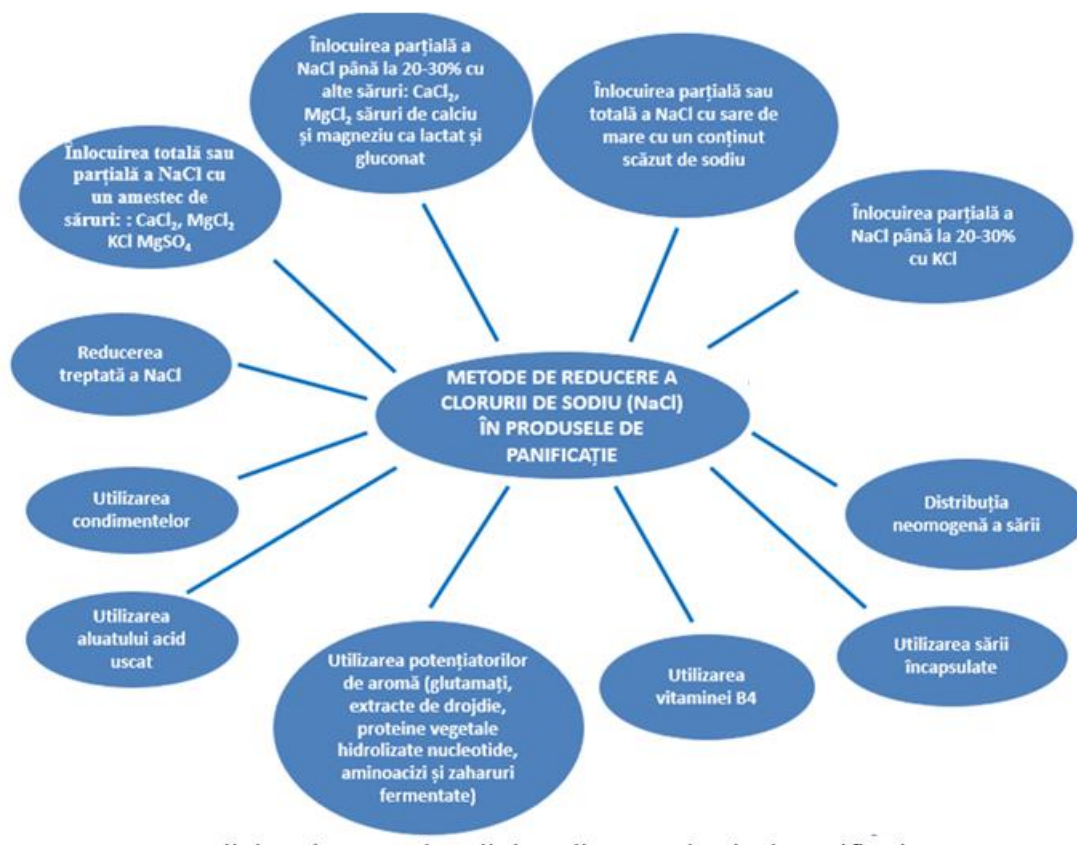


Figura 1.1. Strategii de reducere a clorurii de sodiu în produsele de panificație

Materialele și metodele utilizate au fost prezentate în cadrul părții experimentale a acestei teze de doctorat pe parcursul capitolelor 2-5. Astfel, pentru efectuarea cercetării, s-a utilizat o făină de grâu tip 650 (recolta anului 2019) furnizată de S.C Mopan S.A. (Suceava, România) care a prezentat următoarele caracteristici: 0,65 g/100g cenușă (ICC 104/1), 14,0 g/100 g umiditate (ICC 110/1), indicele de deformare a glutenului 6 mm (SR 90: 2007), 12,67 g/100g proteină (ICC 105/2), gluten umed 30 g/100g (ICC106/1), indice de cădere 442 s (ICC 107/1).

S-au mai folosit ca materiale: drojdie comprimată Pakmaya de panificație (*Saccharomyces cerevisiae*), precum și sare alimentară, conform condițiilor standard.

Ingredientele utilizate ca înlocuitori ai clorurii de sodiu au fost:

- Clorură de potasiu (KCl) achiziționată de pe piața din România;
- Sare de mare cu conținut redus de sodiu (SS) din Marea Moartă, furnizată de BK Giulini Corp., Statele Unite, cu denumirea comercială Salona, care a prezentat următorul conținut: sodiu sub formă de clorură de sodiu (max.7%), clorură de potasiu (21 ÷ 27%) și clorură de magneziu (31 ÷ 35%), insolubilă în apă max. 0,1%;
- Aluatul acid uscat (SD) pe bază de făină de grâu furnizat de compania Enzymes & Derivates S.A. (Neamț, România);
- Zahăr fermentat (FS), care este un potențiator de aromă obținut din materii prime precum sfeclă de zahăr, trestie de zahăr, porumb și tapioca și care conține produse rezultate în urma fermentării acestora, cum ar fi acizi organici, zaharuri reziduale și componente de aromă (ușor acid, combinat cu umami și note de bulion).

Pentru evaluarea proprietăților reologice ale aluatului s-au utilizat următoarele metode:

- determinarea proprietăților reologice ale aluatului la frământare conform metodei ICC 115/1 utilizând aparatul Farinograf (Brabender, Duisburg, Germania, 300 g capacitate);
- determinarea proprietăților reologice de întindere ale aluatului conform metodei ICC 114/1 utilizând aparatul Extensograf (Brabender, Duisburg, Germania);
- determinarea proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului utilizând aparatul Amilograf (Brabender OGH, Duisburg, Germania) și Falling Number (Perten Instruments AB, Suedia), conform metodei ICC 126/1, respectiv ICC 107/1;
- determinarea proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării utilizând aparatul reofermentometru (Chopin Rheo, tip F3, Villeneuve-La-Garenne Cedex, Franța).

Probele de coacere s-au efectuat utilizând aparatură și instalații de laborator, specifice: mixer (Kitchen Aid, ARTISAN 4,8 L Tilt-Head Stand Mixer 5KSM175PS Whirlpool Corporation, SUA), dospitor (PL2008, Piron, Cadoneghe, Padova, Italia), cuptor de coacere (Caboto PF8004D, Cadoneghe, Padova, Italia).

Au fost evaluate caracteristicile fizice ale pâinii (volum specific, elasticitate, porozitate) conform SR 91: 2007, caracteristicile de culoare ale miezului și cojii pâinii utilizând un colorimetru CR-700 (Konica Minolta, Tokyo, Japonia), caracteristicile texturale ale pâinii (gumozitatea, fermitatea, coezivitatea și reziliența) utilizând analizorul textural TVT-6700 (Perten Instruments, Hägersten, Suedia), caracteristicile senzoriale ale pâinii (aspectul, culoarea, aroma, textura, gustul, mirosul și acceptabilitatea globală) utilizând o scală hedonică în 9 puncte și conținutul de sodiu al pâinii prin metoda spectroscopiei de absorbție atomică (AAS), conform SR EN 14082:2003.

Capitolul 2 al tezei, intitulat “ *Cercetări privind influența adaosului diferitelor tipuri de sare asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii* ” explorează posibilitatea reducerii conținutului de sodiu din pâine prin adaosul diferitelor tipuri de sare și efectul acestora asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității produsului finit.

Clorura de sodiu este una dintre materiile prime utilizate pentru obținerea pâinii datorită beneficiilor sale tehnologice și a efectului său asupra calității pâinii. Reducerea conținutului de sodiu este destul de dificilă deoarece clorura de sodiu are o influență semnificativă asupra proprietăților reologice ale aluatului, activității enzimatice, activității drojdiei și calității pâinii (volumul pâinii, porozitatea, elasticitatea, caracteristicile senzoriale, termenul de valabilitate etc.). Pâinea obținută fără sare are un gust fad și inacceptabil. Cu toate acestea, este foarte important să nu se utilizeze doze prea ridicate de NaCl în panificație, deoarece maschează produsele de aromă obținute în urma procesului de fermentare a aluatului și caracteristicile senzoriale induse de alte ingrediente care sunt adăugate în procesul de panificație. Pe lângă contribuția sa la gustul și aroma pâinii, sodiul joacă un rol important în acceptarea pâinii de către consumatori (Noort și colab., 2010). În absența adaosului de clorură de sodiu în aluat, activitatea drojdiei este stimulată. Acest lucru conduce la o creștere a capacității de formare a gazelor în aluat, gaze care nu pot fi reținute în procent ridicat de către aluat, conducând la produse cu volum și porozitate reduse. (Lynch și colab., 2009). Mai mult, termenul de valabilitate al pâinii scade, crusta devine deschisă la culoare, aroma se reduce și gustul de drojdie devine prea intens. Deși există diferite metode raportate pentru înlocuirea sau reducerea clorurii de sodiu în pâine, există unele dificultăți, mai ales din cauza gustului sărat produs de acesta (Codină și colab., 2021; He și colab., 2012; Jessen și colab., 2022).

Pentru ca procesul de reducere a sodiului din pâine să fie un succes în rândul consumatorilor, este necesar să se mențină calitatea și gustul produselor de panificație (Zandstra și colab., 2016). Cea mai utilizată metodă de reducere a conținutului de sodiu din pâine este înlocuirea parțială a clorurii de sodiu cu alte tipuri de sare, cum ar fi clorura de potasiu sau alte tipuri de sare care au clorură de potasiu în compoziție, cu efecte tehnologice similare în procesul de obținere a pâinii ca și cel indus de utilizarea clorurii de sodiu în panificație.

S-a analizat în cadrul acestui capitol influența adaosului de clorura de sodiu, clorura de potasiu și sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (un mix de NaCl, KCl, MgCl) asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.

Pentru a analiza efectul adaosului de clorură de sodiu (NaCl) asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii s-a adăugat în făina de grâu diferite doze de NaCl de 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2% și 1,5 %. Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de frământare și întindere ale aluatului este prezentată în tabelele 2.1 și 2.2.

Tabel 2.1.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de frământare

Proba de aluat	WA (%)	DT (min)	ST (min)	DS (UF)
Proba martor	60,5 ± 0,2 ^a	1,9 ± 0,1 ^a	2,0 ± 0,1 ^a	76 ± 3,2 ^a
NaCl_0,3	59,9 ± 0,1 ^a	2,0 ± 0,1 ^a	2,2 ± 0,1 ^a	72 ± 2,1 ^a
NaCl_0,6	58,7 ± 0,2 ^a	2,1 ± 0,1 ^a	2,4 ± 0,1 ^a	69 ± 1,4 ^a
NaCl_0,9	58,2 ± 0,1 ^a	2,2 ± 0,1 ^a	2,7 ± 0,2 ^a	66 ± 1,5 ^a
NaCl_1,2	57,6 ± 0,1 ^a	2,3 ± 0,1 ^a	3,2 ± 0,2 ^a	64 ± 2,2 ^a
NaCl_1,5	57,2 ± 0,1 ^b	2,7 ± 0,2 ^a	3,6 ± 0,2 ^a	61 ± 1,3 ^b

WA: capacitate de hidratare; DT: timp de dezvoltare; ST: stabilitate; DS: grad de înmuiere după 10 min. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de aluat cu clorură de sodiu (NaCl). ^{a-b}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Se poate observa că proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$) între proba martor și proba cu un adaos de 1.5% NaCl, cu o scădere a capacității de hidratare (WA) cu 5,4% și a gradului de înmuiere (DS) cu 19,7%. Valorile timpului de dezvoltare (DT) și stabilității aluatului (ST) cresc odată cu creșterea adaosului de NaCl în făina de grâu. Acest lucru indică un efect de întărire a sării asupra aluatului din făină de grâu. În ceea ce privește valoarea extensibilității obținute la extensograf, pot fi observate date similare, cu o creștere de 17,3% la proba cu 0,9% NaCl adăugată în făina de grâu. Valorile obținute la extensograf cresc proporțional cu creșterea cantității de NaCl din aluat, excepție făcând parametrul extensibilitate.

Tabel 2.2.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de întindere după 135 minute de fermentare la Extensograf

Proba de aluat	R ₅₀ (UE)	Ext (mm)	R _{max} (UE)	E (cm ²)
Proba martor	327 ± 2,3 ^{ab}	115 ± 1,3 ^a	226 ± 2,1 ^{ab}	57 ± 1,0 ^{ab}
NaCl_0,3	331 ± 1,6 ^{ab}	119 ± 1,4 ^a	230 ± 2,9 ^{ab}	61 ± 1,2 ^{ab}
NaCl_0,6	347 ± 3,9 ^{ab}	124 ± 1,2 ^a	238 ± 2,2 ^{ab}	66 ± 1,6 ^{ab}
NaCl_0,9	371 ± 6,2 ^{ab}	135 ± 1,6 ^a	254 ± 3,1 ^{ab}	75 ± 2,1 ^{ab}
NaCl_1,2	395 ± 5,6 ^a	126 ± 1,4 ^a	277 ± 4,3 ^a	81 ± 1,7 ^a
NaCl_1,5	416 ± 3,9 ^b	122 ± 1,1 ^b	298 ± 5,6 ^b	85 ± 2,2 ^b

R₅₀: rezistență la deformare constantă; Ext: extensibilitate; R_{max}: rezistență maximă la întindere; E: energia. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de aluat cu clorură de sodiu (NaCl). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului sunt prezentate în tabelul 2.3. Se poate observa că proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului cresc proporțional cu creșterea cantității de NaCl în aluat, cu o creștere de 19,3% a vâscozității maxime pentru proba cu adaos de 1,5% NaCl comparativ cu proba martor.

Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice din timpul fermentării aluatului sunt prezentate în tabelul 2.4. Se poate observa o diferență între probele comparate, înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare (H'm) ,

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

volumul total de gaze format în aluat (VT) și volumul de retenție (VR) scad odată cu creșterea adaosului de NaCl în făină de grâu.

Tabel 2.3.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului la Amilograf și Falling Number

Proba de aluat	T _g (°C)	PV _{max} (UA)	T _{max} (°C)	FN (s)
Proba martor	62,3 ± 0,12 ^a	1081 ± 4,7 ^{ab}	88,4 ± 0,18 ^a	322 ± 2,0 ^a
NaCl_0.3	62,7 ± 0,09 ^a	1097 ± 2,2 ^{ab}	88,90 ± 0,22 ^a	331 ± 0,9 ^a
NaCl_0.6	63,2 ± 0,01 ^a	1141 ± 3,9 ^{ab}	89,20 ± 0,32 ^a	338 ± 1,3 ^a
NaCl_0.9	63,6 ± 0,13 ^a	1179 ± 5,9 ^{ab}	89,50 ± 0,22 ^a	347 ± 1,2 ^a
NaCl_1.2	63,8 ± 0,07 ^a	1267 ± 6,8 ^a	89,70 ± 0,38 ^a	352 ± 0,4 ^a
NaCl_1.5	63,9 ± 0,10 ^a	1290 ± 3,1 ^b	89,90 ± 0,24 ^a	358 ± 1,6 ^b

T_g: temperatura de gelatinizare; PV_{max}: vâscozitate maximă; T_{max}: temperatura la vâscozitate maximă a aluatului; FN: valoarea indicelui de cădere. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (*n* = 3). Probe de aluat cu clorură de sodiu (NaCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (*p* < 0,05).

Tabel 2.4.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului la Reofermentometru

Proba de aluat	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Proba martor	67,3 ± 1,8 ^a	1287 ± 8,3 ^a	1066 ± 7,3 ^a	82,8 ± 1,3 ^{ab}
NaCl_0.3	73,2 ± 1,4 ^a	1429 ± 6,9 ^a	1130 ± 5,4 ^a	79,0 ± 0,9 ^{ab}
NaCl_0.6	77,7 ± 0,9 ^a	1512 ± 7,9 ^a	1166 ± 6,3 ^a	77,1 ± 1,0 ^{ab}
NaCl_0.9	66,3 ± 1,3 ^a	1227 ± 6,7 ^a	1045 ± 7,4 ^a	85,2 ± 1,4 ^a
NaCl_1.2	61,6 ± 1,7 ^a	1114 ± 9,8 ^a	970 ± 6,7 ^a	87,1 ± 1,6 ^a
NaCl_1.5	50,6 ± 1,8 ^b	939 ± 3,5 ^b	855 ± 2,3 ^b	91,0 ± 1,1 ^b

H'm: înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT: volumul total de gaze format în aluat; VR: volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR: coeficient de retenție a gazelor în aluat. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (*n* = 3). Probe de aluat cu clorură de sodiu (NaCl). ^{a-b}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (*p* < 0,05).

Efectul adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii sunt prezentate în tabelul 2.5. În general, caracteristicile fizice ale pâinii s-au îmbunătățit prin adaos de clorură de sodiu în rețeta de obținere a pâinii.

Tabel 2.5.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii

Proba de pâine	Volum specific (cm ³ /100 g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Proba martor	325,25 ± 0,42 ^a	63,53 ± 0,31 ^c	95,08 ± 0,32 ^b
NaCl_0.3	331,22 ± 0,67 ^a	64,27 ± 0,23 ^c	95,35 ± 0,10 ^b
NaCl_0.6	339,18 ± 0,23 ^a	65,33 ± 0,12 ^c	95,68 ± 0,22 ^b
NaCl_0.9	341,56 ± 0,35 ^a	67,81 ± 0,23 ^c	96,22 ± 0,32 ^b
NaCl_1.2	345,67 ± 0,83 ^a	68,23 ± 0,31 ^c	96,45 ± 0,10 ^b
NaCl_1.5	332,97 ± 1,20 ^a	67,88 ± 0,12 ^c	95,00 ± 0,15 ^b

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (*n* = 3). Probe de pâine cu clorură de sodiu (NaCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (*p* < 0,05).

Caracteristicile de culoare pentru miezul și coaja pâinii cu diferite doze de clorură de sodiu în făina de grâu au indicat faptul că, din punct de vedere al culorii miezului, probele cu adaos de 0,6% și 1,5% NaCl prezintă luminozitate mai ridicată (valoarea *L*^{*}) și proba cu 1,5% o tentă de verde (valoarea *a*^{*}) și de galben (valoare *b*^{*}) mai mare decât proba martor. Din punct de vedere al culorii cojii, proba cu 0,6 % NaCl a prezentat luminozitatea cea mai mare (valoarea *L*^{*}). Tenta de roșu (valoarea *a*^{*}) este cu atât mai mică cu cât crește cantitatea de NaCl adăugată în rețeta de obținere a pâinii și cea de galben (valoare *b*^{*}) este cu atât mai mare cu cât adaosul de NaCl în făina de grâu crește.

Valoarea maximă a parametrilor de textură gumozitate și fermitate a fost obținută pentru proba de pâine cu un adaos de 0.9% sare de tip NaCl adăugată în făina de grâu. Pentru aceasta probă, valoarea acestor parametri au crescut cu 2,09% respectiv 9,74% comparativ cu proba martor. Parametrii texturali coezivitate și reziliență au crescut proporțional cu doza de NaCl adăugată în făină de grâu cu 17,18% respectiv 14,17%.

Caracteristicile senzoriale ale probelor de pâine cu diferite doze de NaCl încorporată în rețeta de obținere a pâinii indică faptul că în general adaosul de clorură de sodiu îmbunătățește caracteristicile senzoriale ale pâinii. Cele mai bune rezultate s-au înregistrat pentru proba de pâine cu 1,2% adaos de NaCl în rețeta de obținere pentru caracteristicile acceptabilitate globală, aspect, textură și miros. Pentru caracteristicile culoare, aroma și gust cele mai bune rezultate s-au înregistrat pentru proba de pâine cu 1,5% NaCl adăugată în făina de grâu.

Din punct de vedere al conținutului de sodiu (tabelul 2.6) doar proba martor și proba cu 0,3% NaCl se pot clasifica ca produse cu conținut redus de sodiu conform Comisiei Europene (CE) Regulamentul nr. 1924/2006 privind „mențiunile nutriționale și de sănătate făcute asupra produselor alimentare”. Conținutul de sodiu crește semnificativ ($p < 0.05$) cu creșterea dozei de NaCl adăugată în rețeta de obținere a pâinii.

Tabel 2.6.

Efectele adaosului de clorură de sodiu asupra conținutului de sodiu al pâinii

Proba de pâine	Na (mg/100 g)
Proba martor	8,14 ± 0.20 ^f
NaCl_0.3	91,22 ± 0.10 ^e
NaCl_0.6	173,31 ± 0.3 ^d
NaCl_0.9	257,23 ± 0.2 ^c
NaCl_1.2	338,54 ± 0.3 ^b
NaCl_1.5	424,53 ± 0.2 ^a

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de pâine cu clorură de potasiu (NaCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Pentru a analiza efectul adaosului de clorură de potasiu (KCl) asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii s-a adăugat în făina de grâu diferite doze de KCl de 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2% și 1,5 %. Efectele adaosului de KCl asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul frământării sunt prezentate în Tabelul 2.9. Se poate observa că adaosul de clorură de potasiu a scăzut treptat capacitatea de hidratare a făinii de grâu (WA) și gradul de înmuiere a aluatului la 10 minute de la începutul frământării (DS) cu până la 4,9% și 21% pentru proba cu adaos de 1,5% KCl în făina de grâu comparativ cu proba martor. Timpul de dezvoltare a aluatului (DT) și stabilitatea aluatului (ST) au crescut semnificativ odată cu creșterea dozei de KCl în pâine de până la 63% și 90% pentru proba cu un adaos de KCl de 1,5% încorporat în făina de grâu, comparativ cu proba martor.

Tabel 2.9.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de frământare la Farinograf

Proba de aluat	WA (%)	DT (min)	ST (min)	DS (UF)
Proba martor	60,5 ± 0,2 ^a	1,9 ± 0,10 ^d	2,0 ± 0,10 ^d	76 ± 3,2 ^a
KCl_0.3	60,2±0,2 ^a	2,1±0,10 ^{cd}	2,3±0,07 ^d	73±0,7 ^b
KCl_0.6	59,2±0,1 ^b	2,3±0,07 ^{cd}	2,7±0,10 ^c	71± 0,7 ^b
KCl_0.9	58,6±0,2 ^{bc}	2,5±0,10 ^{bc}	3,0±0,10 ^{bc}	67±0,7 ^c
KCl_1.2	58,2±0,2 ^{cd}	2,8±0,07 ^{ab}	3,3±0,10 ^b	64±0,7 ^d
KCl_1.5	57,5±0,2 ^d	3,1±0,10 ^a	3,8±0,07 ^a	60±0,7 ^e

WA: capacitate de hidratare; DT: timp de dezvoltare; ST: stabilitatea aluatului; DS: grad de înmuiere după 10 min. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de aluat cu clorură de potasiu (KCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Efectele adaosului de KCl asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul întinderii uniaxiale sunt prezentate în Tabelul 2.10. Odată cu creșterea dozei de KCl adăugată în aluat, proprietățile reologice ale aluatului în timpul întinderii au crescut. Adaosul de KCl a prezentat un efect pozitiv semnificativ asupra energiei (E), rezistenței la extensie (R₅₀) și rezistenței maxime la extensie (R_{max}). Valorile extensibilității (Ext) au crescut până la 22% pentru proba cu 0,9% KCl și apoi au scăzut ușor.

Tabel 2.10.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de întindere după 135 minute de fermentare la Extensograf

Proba de aluat	R ₅₀ (UE)	Ext (mm)	R _{max} (UE)	E (cm ²)
Proba martor	327±2,3 ^f	115 ±1,3 ^d	226 ± 2,1 ^e	57 ±1,0 ^e
KCl_0.3	346±0,7 ^e	128±0,7 ^c	235±0,7 ^d	66±0,7 ^d
KCl_0.6	362±2,1 ^d	136±1,4 ^b	242±1,4 ^c	70±1,4 ^c
KCl_0.9	389±1,4 ^c	141±0,7 ^a	261±2,8 ^b	78±0,7 ^b
KCl_1.2	403±0,7 ^b	133±1,4 ^b	298±0,7 ^a	86±1,4 ^a
KCl_1.5	462±1,4 ^a	125±0,7 ^c	302±0,7 ^a	90±0,7 ^a

R₅₀: rezistență la deformare constantă; Ext: extensibilitate; R_{max}: rezistență maximă la întindere; E: energia. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de aluat cu clorură de sodiu (KCl). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Efectele adaosului de KCl asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului sunt prezentate în Tabelul 2.11. O creștere semnificativă a temperaturii de gelatinizare (T_g) până la 2,8% și a vâscozității maxime (PV_{max}) până la 19,7% a fost observată odată cu creșterea dozei de KCl în făină de grâu. De asemenea, o creștere semnificativă a valorilor indicelui de cădere (FN) până la 10,8% și a temperaturii la vâscozitatea maximă (T_{max}) până la 1,3% a fost observată prin adaosul de 1,5% KCl în aluat.

Tabel 2.11.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului la Amilograf și Falling Number

Proba de aluat	T _g (°C)	PV _{max} (UA)	T _{max} (°C)	FN (s)
Proba martor	62,3±0,12 ^d	1081±4,7 ^f	88,4±0,18 ^d	322±2,0 ^d
KCl_0.3	62,8±0,20 ^c	1181±0,7 ^e	88,6±0,10 ^{cd}	330±0,7 ^d
KCl_0.6	63,4±0,10 ^b	1207±1,4 ^d	88,9±0,10 ^{bcd}	345±1,4 ^c
KCl_0.9	63,8±0,07 ^{ab}	1257±1,4 ^c	89,1±0,10 ^{abc}	351±2,1 ^{bc}
KCl_1.2	64,0±0,10 ^a	1277±0,7 ^b	89,3±0,07 ^{ab}	365±1,4 ^a
KCl_1.5	64,1±0,07 ^a	1295±1,4 ^a	89,6±0,10 ^a	357±0,7 ^{ab}

T_g: temperatura de gelatinizare; PV_{max}: vâscozitate maximă; T_{max}: temperatura la vâscozitate maximă a aluatului; FN: valoarea indicelui de cădere. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de aluat cu clorură de potasiu (KCl). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Tabel 2.12.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului la Reofermentometru

Proba de aluat	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Proba martor	67,3 ± 1,8 ^d	1287 ±8,3 ^c	1066 ±7,3 ^d	82,8 ±1,3 ^c
KCl_0.3	73,7±0,07 ^b	1452±1,4 ^b	1146±1,4 ^b	78,9±0,1 ^b
KCl_0.6	78,3±0,1 ^a	1537±0,7 ^a	1182±2,1 ^a	76,9±0,2 ^e
KCl_0.9	70,1±0,2 ^c	1287±1,4 ^c	1073±1,4 ^c	83,3±0,1 ^c
KCl_1.2	65,7±0,07 ^e	1121±2,1 ^d	992±0,7 ^e	88,4±0,1 ^d
KCl_1.5	55,3±0,1 ^f	1007±1,4 ^e	912±2,1 ^f	90,5±0,07 ^a

H'm: înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT: volumul total de gaze format în aluat; VR: volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR: coeficient de retenție a gazelor în aluat. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de aluat cu clorură de sodiu (KCl). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Efectul adaosului de clorură de potasiu asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului sunt prezentate în tabelul 2.12. Valoarea parametrilor H'm, VT și VR au scăzut semnificativ odată cu creșterea dozei de KCl adăugate în făina de grâu. Valoarea coeficientului de retenție (CR) a crescut până la 9,2% odată cu creșterea dozei de KCl în făina de grâu.

Datele privind efectele KCl asupra caracteristicilor fizice ale pâinii sunt prezentate în Tabelul 2.13 După cum se poate observa, s-au obținut diferențe între probe privind caracteristicile fizice ale pâinii. Se poate observa că proba cu 0,3% KCl a prezentat o creștere de până la 3,3% a volumului de pâine comparativ cu proba martor. O creștere semnificativă a porozității de până la 11,3% și a elasticității cu 3,3% a fost observată prin adaosul de 0,6% KCl în făina de grâu. Cu toate acestea, atunci când în făina de grâu sunt încorporate doze ridicate de KCl, volumul specific al pâinii, porozitatea și elasticitatea încep să scadă.

Tabel 2.13.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii

Proba de pâine	Volum specific (cm³/100 g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Proba martor	325,25 ± 0,42 ^a	63,53 ± 0,31 ^a	95,08±0,32 ^{ab}
KCl_0.3	332,75±0,09 ^f	70,32±0,02 ^f	96,00±0,04 ^d
KCl_0.6	336,42±0,08 ^c	70,72±0,01 ^b	98,30±0,10 ^c
KCl_0.9	334,87±0,01 ^a	69,71±0,01 ^a	96,66± 0,02 ^a
KCl_1.2	331,33±0,05 ^b	69,51±0,01 ^c	96,61±0,01 ^c
KCl_1.5	328,12±0,07 ^d	69,19±0,02 ^d	94,91±0,01 ^b
KCl_1.5	332,75±0,09 ^e	70,32±0,02 ^e	96,00±0,04 ^d

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de pâine cu clorură de potasiu (KCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Din punct de vedere al culorii cojii, probele cu adaos de KCl au prezentat o luminozitate mai mică (valoare L*), au o tentă mai puțin galbenă (valoare b*) și au o tentă roșiatică mai mare (valoare a*) decât proba martor. Un trend similar pentru caracteristicile de culoare s-a înregistrat și pentru miezul pâinii. În general, adaosul de KCl a condus la închiderea la culoare a miezului și cojii pâinii comparativ cu proba martor.

În ceea ce privește parametrii de textură a probelor de pâine, adaosul de clorură de potasiu scade semnificativ fermitatea cu până la 56,2%, gumozitatea până la 58,1%, coeziunea până la 7,8% și reziliența cu până la 12,9% pentru proba cu adaos de 1,5% KCl comparativ cu proba martor.

Din punct de vedere senzorial, proba cu adaos de 0,6% KCl a fost cea mai apreciată de către evaluatori, cu excepția gustului pentru care proba cu adaos de 0,9% KCl a fost preferată. Proba de pâine fără adaos de KCl a fost mai puțin apreciată de evaluatori.

Tabel 2.16.

Efectele adaosului de clorură de potasiu asupra conținutului de sodiu al pâinii

Proba de pâine	Na (mg/100 g)
Proba martor	8,14 ± 0.20 ^a
KCl_0.3	8,10 ± 0.10 ^a
KCl_0.6	8,07 ± 0.10 ^a
KCl_0.9	8,11 ± 0.10 ^a
KCl_1.2	8,03 ± 0.05 ^a
KCl_1.5	8,06 ± 0.10 ^a

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de pâine cu clorură de potasiu (KCl). ^{a-c}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Din punct de vedere al conținutului de sodiu, probele de pâine (tabel 2.16) au prezentat valori ale conținutului de sodiu între 0.008 și 0.0081 g mai mici de 0,04 g sodiu la 100 g, ceea ce le va clasifica drept produse cu un conținut foarte scăzut în sodiu conform Comisiei

Europene (CE) Regulamentul nr. 1924/2006 privind „mențiunile nutriționale și de sănătate făcute asupra produselor alimentare”. Proveniența sodiului în produsele de panificație se datorează prezenței sodiului în materiile prime utilizate la obținerea pâinii. Deși nu conțin clorura de sodiu în rețeta de fabricație, produsele nu pot fi încadrate ca produse fără conținut de sodiu deoarece conținutul de sodiu este mai mare de 0,005 g/100g.

Pentru a analiza efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu un conținut redus de sodiu (SS) asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii s-a adăugat în făina de grâu diferite doze de SS de 0%, 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2% și 1,5 %.

După cum se poate observa din tabelul 2.17, adaosul de SS a scăzut treptat capacitatea de hidratare a făinii și gradul de înmuiere a aluatului după 10 min de frământare cu pâna la 6,9% și 26,3% pentru proba cu cea mai mare doză de SS adăugată în făina de grâu comparativ cu proba martor. Se poate observa că timpul de dezvoltare și stabilitatea aluatului au crescut odată cu creșterea dozei de SS adăugată în făina de grâu. Pentru probele cu adaos de 1,5% SS, valorile pentru stabilitatea aluatului (ST) au fost dublate, în timp ce pentru timpul de dezvoltare (DT) această valoare a crescut semnificativ ($p < 0,05$) până la 42,1%.

Tabel 2.17.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de frământare la Farinograf

Proba de aluat	WA (%)	DT (min)	ST (min)	DS (UF)
Proba martor	60,5 ± 0,2 ^a	1,9 ± 0,10 ^{bc}	2,0 ± 0,10 ^c	76 ± 3,2 ^a
SS_0.3	59,5 ± 0,1 ^b	2,0 ± 0,05 ^c	2,9 ± 0,10 ^c	68 ± 0,5 ^b
SS_0.6	59,0 ± 0,1 ^{bc}	2,2 ± 0,05 ^{abc}	3,2 ± 0,10 ^{cd}	66 ± 1,5 ^b
SS_0.9	58,4 ± 0,2 ^c	2,4 ± 0,10 ^{ab}	3,5 ± 0,05 ^{bc}	62 ± 2,5 ^{bc}
SS_1.2	57,2 ± 0,1 ^d	2,5 ± 0,20 ^a	3,7 ± 0,05 ^b	60 ± 0,5 ^{cd}
SS_1.5	56,3 ± 0,2 ^e	2,7 ± 0,05 ^a	4,2 ± 0,10 ^a	56 ± 1,5 ^d

WA: capacitate de hidratare; DT: timp de dezvoltare; ST: stabilitate; DS: grad de înmuiere după 10 min. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de aluat cu sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Toate proprietățile reologice ale aluatului în timpul întinderii au crescut odată cu creșterea dozei de SS adăugată în făina de grâu, așa cum se poate observa din Tabelul 2.18. Prin urmare, cele mai mari valori ale proprietăților reologice ale aluatului în timpul întinderii au fost înregistrate pentru proba cu un adaos de 1,5% SS în făina de grâu, din care toate valorile reologice au crescut semnificativ ($p < 0,05$) până la 24,77% pentru R_{50} , până la 28,69% pentru Ext, până la 27,87% pentru R_{max} și până la 66,66% pentru E comparativ cu proba martor.

Tabel 2.18.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra proprietăților reologice ale aluatului de întindere după 135 minute de fermentare la Extensograf

Proba de aluat	R_{50} (UE)	Ext (mm)	R_{max} (UE)	E (cm ²)
Proba martor	327 ± 2,3 ^f	115 ± 1,3 ^e	226 ± 2,1 ^c	57 ± 1,0 ^f
SS_0.3	346 ± 1,5 ^e	122 ± 2,5 ^d	231 ± 1,5 ^e	66 ± 1,0 ^e
SS_0.6	352 ± 2,1 ^d	128 ± 1,0 ^{cd}	245 ± 1,5 ^d	75 ± 1,5 ^d
SS_0.9	374 ± 1,5 ^c	132 ± 1,4 ^{bc}	254 ± 2,1 ^c	81 ± 1,0 ^c
SS_1.2	397 ± 1,5 ^b	137 ± 1,0 ^b	277 ± 1,0 ^b	88 ± 1,0 ^b
SS_1.5	408 ± 0,7 ^a	148 ± 1,0 ^a	289 ± 1,0 ^a	95 ± 0,7 ^a

R_{50} : rezistență la deformare constantă; Ext: extensibilitate; R_{max} : rezistență maximă la întindere; E: energia. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de aluat cu sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Efectele adaosului de SS în făina de grâu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului sunt prezentate în Tabelul 2.19. O creștere semnificativă ($p < 0,05$) a temperaturii de gelatinizare (T_g) până la 2,4% și a vâscozității maxime (PVmax) până la 12% s-a observat la creșterea adaosului de SS în făina de grâu. Mai mult, s-a observat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a temperaturii la vâscozitatea maximă (T_{max}) până la 1,4% pentru proba cu un adaos de 1,5% SS în făina de grâu față de cea martor. Valoarea indicelui de

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

cădere a crescut și cu 10,24% pentru proba cu cel mai mare nivel de SS în făina de grâu comparativ cu cea martor. Adaosul de SS în făina de grâu crește toate valorile care indică proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului.

Tabel 2.19.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului la Amilograf și Falling Number

Proba de aluat	T _g (°C)	PV _{max} (BU)	T _{max} (°C)	FN (s)
Proba martor	62,3 ± 0,12 ^b	1081 ± 4,7 ^f	88,4 ± 0,18 ^c	322 ± 2,0 ^a
SS_0.3	63,3 ± 0,15 ^a	1092 ± 2,5 ^e	88,7 ± 0,05 ^{bc}	328 ± 1,5 ^b
SS_0.6	63,4 ± 0,05 ^a	1107 ± 3,5 ^d	89,0 ± 0,15 ^{abc}	342 ± 1,0 ^c
SS_0.9	63,4 ± 0,15 ^a	1153 ± 1,5 ^c	89,2 ± 0,15 ^{abc}	349 ± 1,0 ^d
SS_1.2	63,6 ± 0,12 ^a	1198 ± 2,0 ^a	89,4 ± 0,20 ^{ab}	352 ± 1,5 ^{de}
SS_1.5	63,8 ± 0,15 ^a	1211 ± 2,0 ^b	89,7 ± 0,05 ^a	355 ± 1,0 ^e

T_g: temperatura de gelatinizare; PV_{max}: vâscozitate maximă; T_{max}: temperatura la vâscozitate maximă; FN: valoarea indicelui de cădere. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de aluat cu sare de mare cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Proprietățile reologice ale aluatului în timpul fermentării sunt prezentate în Tabelul 2.20. După cum se poate observa, valorile obținute au arătat că H'm, VT și VR au crescut semnificativ (p < 0,05) cu creșterea dozei de SS adăugate în făina de grâu cu până la 0,6%, în timp ce la doze ridicate adăugate în aluat acestea au scăzut. Coeficientul de retenție a scăzut odată cu creșterea dozei de SS adăugate în făina de grâu.

Tabel 2.20.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă asupra proprietăților reologice de fermentare ale aluatului la Reofermentometru

Proba de aluat	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Proba martor	67,3 ± 1,8 ^e	1287 ± 8,3 ^e	1066 ± 7,3 ^e	82,8 ± 1,3 ^a
SS_0.3	82,7 ± 1,1 ^c	1551 ± 6,8 ^c	1272 ± 6,1 ^a	82,0 ± 1,4 ^a
SS_0.6	89,3 ± 1,2 ^a	1694 ± 4,1 ^a	1290 ± 4,2 ^b	76,1 ± 1,2 ^c
SS_0.9	85,1 ± 1,2 ^b	1631 ± 5,1 ^b	1238 ± 3,4 ^c	75,9 ± 1,1 ^c
SS_1.2	78,6 ± 1,5 ^d	1557 ± 5,5 ^c	1169 ± 3,5 ^d	75,0 ± 1,1 ^b
SS_1.5	78,0 ± 1,5 ^d	1506 ± 4,5 ^d	1043 ± 3,4 ^e	69,2 ± 1,4 ^c

H'm: înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT: volumul total de gaze format în aluat; VR: volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR: coeficient de retenție a gazelor în aluat. Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de aluat cu sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu asupra caracteristicilor fizice ale pâinii (tabelul 2.21) indică faptul că s-au obținut diferențe semnificative (p < 0,05) între proba martor și probele de pâine cu adaos de SS în făina de grâu. Cele mai bune caracteristici fizice au fost obținute pentru probele de pâine cu un adaos de 0,6% SS în făina de grâu. Cu toate acestea, atunci când s-au adăugat doze ridicate de SS în aluat, caracteristicile fizice ale pâinii au început să scadă.

Tabel 2.21.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă asupra caracteristicilor fizice ale pâinii

Proba de pâine	Volum specific (cm ³ /100 g)	Porozitate (%)	Elasticitate (%)
Proba martor	325,25 ± 0,42 ^a	63,53 ± 0,31 ^a	95,08 ± 0,32 ^{ab}
SS_0.3	347,54 ± 0,86 ^d	69,30 ± 0,27 ^d	96,33 ± 0,23 ^d
SS_0.6	349,12 ± 0,12 ^c	72,67 ± 0,31 ^c	97,66 ± 0,21 ^c
SS_0.9	340,43 ± 0,64 ^c	68,09 ± 0,42 ^c	96,18 ± 0,32 ^d
SS_1.2	339,52 ± 1,03 ^c	67,99 ± 0,22 ^c	95,78 ± 0,42 ^c
SS_1.5	337,54 ± 0,86 ^d	66,97 ± 0,18 ^b	95,46 ± 0,23 ^{bc}

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard (n = 3). Probe de pâine cu sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Din punct de vedere al culorii miezului de pâine, probele cu adaos de SS în făina de grâu au prezentat o luminozitate mai mică (valoare L*), o tentă de galben (valoare b*) și o nuanță mai mare de roșu (valoare a*) în comparație cu proba martor. Din punct de vedere al culorii cojii de pâine, se poate observa că probele cu adaos de SS au aceeași tendință de evoluție a parametrilor de culoare cu cea obținută pentru miezul pâinii. Caracteristicile de culoare ale pâinii au indicat o culoare mai închisă pentru probele cu doze ridicate de SS adăugate în făina de grâu.

Parametrii texturali de fermitate și gumozitate ai probelor de pâine s-au redus până la o doză de 0,9% SS adăugată în făina de grâu. Parametrii de coezivitate și reziliență au scăzut odată cu creșterea dozei de SS în făina de grâu până la 35,93%, respectiv 35,07%, pentru proba de pâine cu cea mai mare doză de SS adăugată în făina de grâu comparativ cu cea martor. Din punct de vedere textural, adaosul de SS a diminuat valorile de coezivitate și reziliență iar la doze ridicate s-a înregistrat o creștere pentru fermitate și gumozitate.

Din punct de vedere senzorial, în general proba cu adaos de 1,5% SS în făina de grâu a fost cea mai apreciată pentru acceptabilitate globală, aromă, gust și miros. Totuși, pentru caracteristicile de culoare și textură, proba cu adaos de 1,2% SS în făina de grâu a fost preferată de evaluatori.

Conținutul de sodiu al probelor de pâine cu adaos de SS în făina de grâu este prezentat în Tabelul 2.24 După cum se poate observa, valoarea sodiului a crescut odată cu creșterea dozei de SS adăugată în făina de grâu. Această creștere este una semnificativă ($p < 0,05$) de zece ori mai mare pentru proba cu un adaos de 1,5% în făina de grâu față de cea martor. Creșterea cantității de SS în rețeta de pâine va crește conținutul de sodiu din probele de pâine. Conform datelor obținute, produsele de panificație cu un adaos de SS de până la 0,6% în făina de grâu pot fi clasificate conform Regulamentului Comisiei Europene (CE) nr. 1924/2006 ca produse cu un conținut foarte scăzut de sodiu deoarece valoarea lor este mai mică de 0,04 g/100 g de sodiu. Produsele de panificație cu doze de 0,9, 1,2 și 1,5% SS încorporate în aluat pot fi clasificate ca produse cu conținut scăzut de sodiu deoarece au valori mai mici de 0,12 g/100 g de sodiu (Codină și colab., 2021; Silow și colab., 2016). Adaosul de SS în aluat, conduce la probe de pâine cu un conținut de sodiu de 10-15 ori mai mic decât cele din produsele de pâine obișnuite, ceea ce poate avea un impact major asupra aportului zilnic de sodiu.

Tabel 2.24.

Efectele adaosului de sare din Marea Moartă asupra conținutului de sodiu al pâinii

Proba pâine	Na (mg/100 g)
Proba martor	8,14 ± 0.2 ⁱ
SS_0.3	23,22 ± 0.1 ^e
SS_0.6	38,35 ± 0.1 ^d
SS_0.9	53,75 ± 0.07 ^c
SS_1.2	67,25 ± 0.1 ^b
SS_1.5	82,5 ± 0.1 ^a

Rezultatele obținute sunt media ± deviația standard ($n = 3$). Probe de pâine cu sare de mare cu conținut redus de sodiu (SS). ^{a-e}: valorile medii în aceeași coloană urmate de diferite litere sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Capitolul 3 al tezei intitulat „*Cercetări privind efectul substituției parțiale a clorurii de sodiu cu clorura de potasiu asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii*” analizează efectele adaosului de KCl și NaCl în diferite combinații asupra proprietăților reologice ale aluatului din făină de grâu utilizând metodologia suprafețelor de răspuns (RSM). Optimizarea rezultatelor prin metoda RSM a implicat trei pași principali: proiectarea statistică a experimentului, apoi, determinarea coeficienților modelelor matematice și, în cele din urmă, predicția răspunsurilor și verificarea adecvării modelului matematic în proiectarea

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

experimentului (DOE) utilizând software-ul Design Expert, versiunea trial 12 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, SUA). Proiectarea experimentală, cu valorile reale și codificate ale variabilelor independente, sunt prezentate în tabelul 3.1. Răspunsurile (variabilele dependente) sunt valorile caracteristicilor reologice de frământare, întindere, vâscozitate și a celor obținute pe parcursul fermentării utilizând aparatul reofermentometru.

Tabelul 3.1.

Valori reale și codate ale variabilelor independente utilizate în proiectarea experimentală

Nr. crt.	Valorile reale		Valorile Codate	
	KCl (g/100g)	NaCl (g/100g)	X ₁	X ₂
1	0,3	0,3	-1	-1
2	1,5	0,3	1	-1
3	0,3	1,5	-1	1
4	0,9	0,9	0	0
5	0,9	0,9	0	0
6	0,9	0,9	0	0
7	1,5	0,9	1	0
8	0,9	0,9	0	0
9	1,5	1,5	1	1
10	0,9	1,5	0	1
11	0,9	0,9	0	0
12	0,9	0,3	0	-1
13	0,3	0,9	-1	0

KCl – clorură de potasiu; NaCl – clorură de sodiu.

Aplicând metoda ANOVA pentru datele obținute pentru proprietățile reologice de frământare și întindere a aluatului (tabelul 3.2), s-a observat că KCl are un efect semnificativ ($p < 0,01$) asupra parametrilor reologici precum E, R₅₀, R_{max}, R / E, T_g, H'_m, VT, VR, CR, în timp ce NaCl are un efect semnificativ ($p < 0,01$) asupra WA, ST, E, R₅₀, R_{max}, R / E, PV_{max}, H'_m, VT, VR.

Tabelul 3.2.

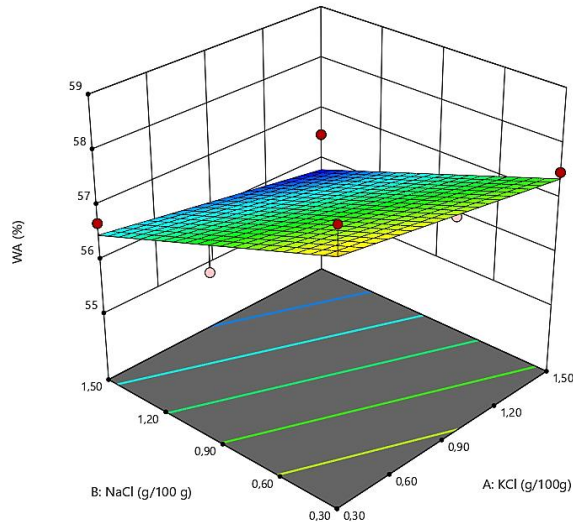
Efectele variabilelor independente (NaCl și KCl) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului

Factori	Parametrii reologici							
	Farinograf				Extensograf (la 135 min)			
	WA (%)	DT (min)	ST (min)	DS (UF)	E (cm ²)	R ₅₀ (UE)	R _{max} (UE)	R/E
Constante	56,75	1,55	6,85	54,86	106,54	439,62	566,85	4,11
A	-0,35**	0,0167	1,55*	0,666	14,33***	51,00***	81,83***	0,57***
B	-0,80***	-0,05	4,07***	-5,67**	15,00***	54,67***	78,67***	0,50***
A x B	0,22	0,025	1,00	4,00	-	-	-	-
A ²	0,019	0,319***	3,78**	-10,52**	-	-	-	-
B ²	0,37	0,019	-1,67	11,48**	-	-	-	-
R ² ajustat	0,76	0,70	0,75	0,60	0,74	0,82	0,79	0,79
Valoarea-p	0,0072***	0,031**	0,0079***	0,0355**	0,0005***	<0,0001***	0,0002***	0,0005***

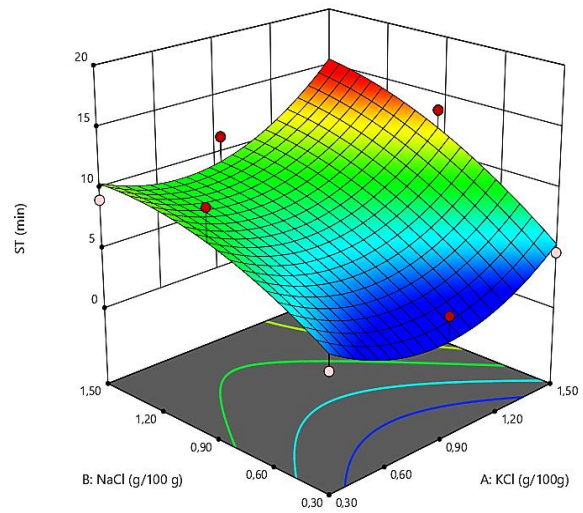
* Semnificativ la $p < 0,01$ ***, la $p < 0,05$ ** , la $p < 0,1$ *. ^a A - KCl (g / 100g); B - NaCl (g / 100g); R² este măsura potrivirii modelului. WA – capacitatea de hidratare; ST - stabilitatea aluatului; DS - grad de înmuiere; E - energie; R₅₀ – rezistența la deformare constantă; Ext - extensibilitate; R_{max} - rezistență maxima la întindere. R/E-valoarea raportului dintre rezistență și extensibilitate.

După cum se poate observa din Figura 3.1a, ambele tipuri de sare au condus la o scădere semnificativă ($p < 0,01$) a valorii WA. Din cele două tipuri de săruri utilizate se pare că NaCl a prezentat un efect semnificativ mai mare ($p < 0,01$) asupra valorii WA față de KCl ($p < 0,01$). Reprezentarea grafică a valorii stabilității aluatului (ST) în raport cu nivelul

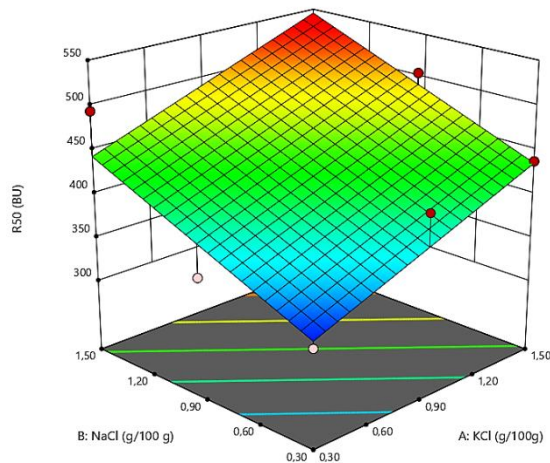
adaosului de KCl și NaCl este prezentată în Figura 3.1 b. Se poate observa o creștere semnificativă ($p < 0,01$) a acestei valori odată cu creșterea nivelului de adaos al ambelor variabile independente. Acest lucru indică un efect al sărurilor de întărire a aluatului din făină de grâu.



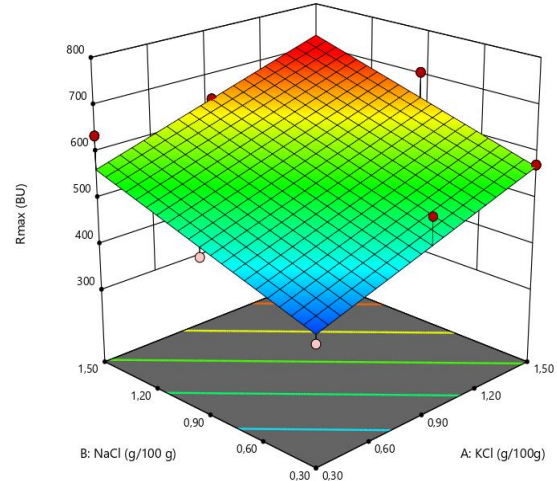
(3.1a)



(3.1b)



(3.1c)



(3.1d)

Figura 3.1. Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la Farinograf și Extensograf: (1a) capacitatea de hidratare (WA); (1b) stabilitatea aluatului (ST); (1c) rezistența la deformare constantă (R_{50}); (1d) rezistență maximă la întindere (R_{max}).

Efectele adaosului clorurii de sodiu și potasiu în aluat asupra parametrilor obținuți la extensograf sunt similare. Toate modelele pentru valorile obținute la extensograf au fost liniare. Ambele variabile independente au prezentat un efect pozitiv semnificativ ($p < 0,01$) asupra energiei (E), rezistenței la deformare constantă (R_{50}), rezistenței maxime la întindere (R_{max}) și valorii raportului (R/E). Efectul lor de întărire asupra aluatului se datorează creșterii numărului de interacțiuni hidrofobe dintre componentele din aluat conducând la o valoare mai mare a parametrilor E, R_{max} , R_{50} și R/E. Adaosul de KCl și NaCl în făina de grâu au crescut rezistența la întindere așa cum se poate observa din figurile 3.1 c, d.

Efectul adaosului de NaCl și KCl în făina de grâu asupra proprietăților reologice de vâscozitate ale aluatului, exprimate prin coeficienți și modele de regresie corespunzătoare, este redat în tabelul 2.3. Din analiza modelelor obținute, se poate concluziona că cele mai semnificative modele au fost modelul pătratic (R^2 ajustat = 0,82) pentru indicele de cădere

(FN) urmată de cele (R^2 ajustat = 0,63) pentru vâscozitatea maximă (PV_{max}) și modelul 2FI (R^2 ajustat = 0,63) pentru temperatura de gelatinizare (T_g) care a fost mai puțin semnificativ.

Un efect pozitiv asupra tuturor proprietăților reologice de vâscozitate a fost dat de coeficienții de regresie liniară, sugerând că nivelurile crescute a adaosului de NaCl și KCl în făina de grâu vor conduce la o creștere a valorilor parametrilor de vâscozitate așa cum se poate observa din Figura 3.2.

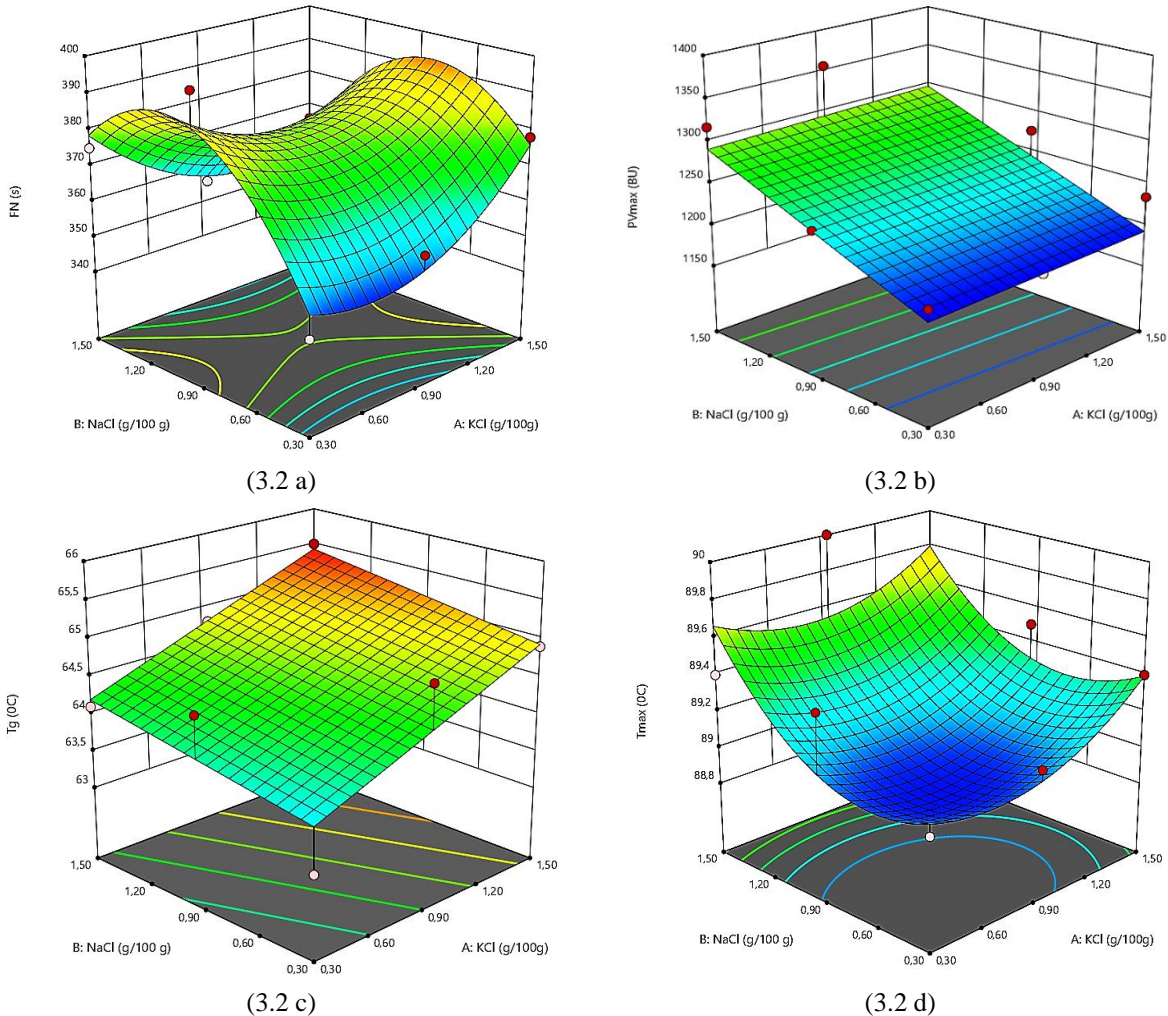


Figura 3.2. Reprezentările grafice pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului: (3.2a) valoarea indicelui de cădere (FN); (3.2b) vâscozitatea maximă (PV_{max}); (3.2c) temperatura la începutul gelatinizării și (3.2d) temperatura la vâscozitatea maxima a aluatului (T_{max})

Toate variabilele dependente care corespund datelor obținute la reofermentometru au fost semnificativ afectate ($p < 0,01$) de adaosul de NaCl și KCl în făina de grâu. Modelele pătratice (Tabelul 2.3) obținute au arătat un efect semnificativ al termenilor liniari ai NaCl și KCl cu un coeficient de determinare (R^2) foarte mare, care variază în principal între 0,70 și 0,91.

Liniile de contur din figura 3.3 pentru valorile obținute la reofermentometru au arătat că înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare (H'_m), volumul total de gaze format în aluat (VT) și volumul de retenție a gazelor (VR) a scăzut ($p < 0,01$) cu creșterea adaosului de KCl și NaCl în făina de grâu. Valoarea coeficientului de retenție (CR) a crescut odată cu creșterea adaosului de KCl și NaCl în făina de grâu. Prin adăugarea clorurii de sodiu și clorurii de potasiu în făina de grâu, rețeaua glutenică devine mai puternică și mai puțin extensibilă, ceea ce va conduce la o expansiune mai mică a aluatului în timpul

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

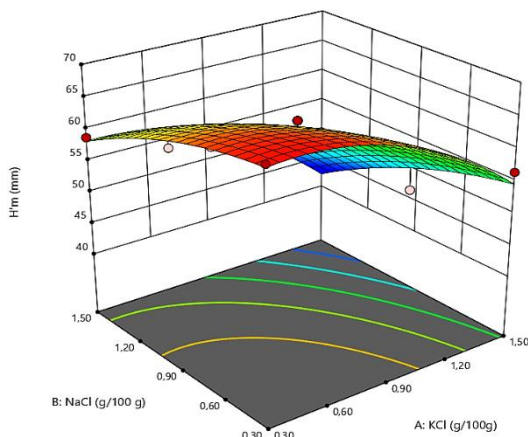
fermentării. De asemenea, prezența acestor săruri reprimă activitatea drojdiei prin efectul lor de presiune osmotică, fapt ce a condus la evoluția parametrilor reologici prezentată în figura 3.3.

Tabelul 3.3.

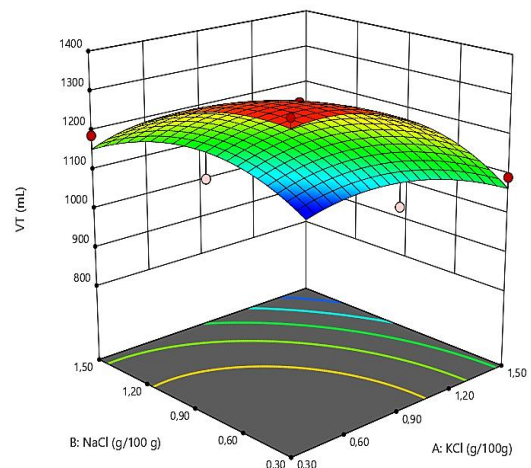
Efectele variabilelor independente (NaCl și KCl) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de vâscozitate și fermentare ale aluatului

Factori	Parametri reologici							
	FN (s)	T _g (°C)	PV _{max} (UA)	T _{max} (°C)	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constante	378,52	64,56	1221,66	89,00	61,95	1251,93	1117,07	89,28
A	1,50	0,62 ^{***}	3,33	0,1167	-7,35 ^{***}	-159,50 ^{***}	-124,00 ^{***}	2,12 ^{***}
B	2,83	0,25 [*]	52,67 ^{***}	0,25	-5,58 ^{***}	-115,33 ^{***}	-88,00 ^{***}	1,62 ^{**}
A x B	-10,25 ^{**}	-0,1	-21,25	-0,05	-0,6750	-15,25	-24,00	-0,45
A ²	12,19 ^{**}	-	14,21	0,1879	-4,38 ^{**}	-95,26 ^{**}	-63,24 ^{**}	2,22 ^{**}
B ²	-23,81 ^{***}	-	29,21	0,2879	-1,78	-61,76	-40,24	1,42
R ² ajustat	0,82	0,63	0,633	0,40	0,90	0,87	0,91	0,75
Valoare p	0,0028 ^{***}	0,0071 ^{***}	0,0143 ^{**}	0,1193	0,0004 ^{***}	0,0008 ^{***}	0,0003 ^{***}	0,0073 ^{***}

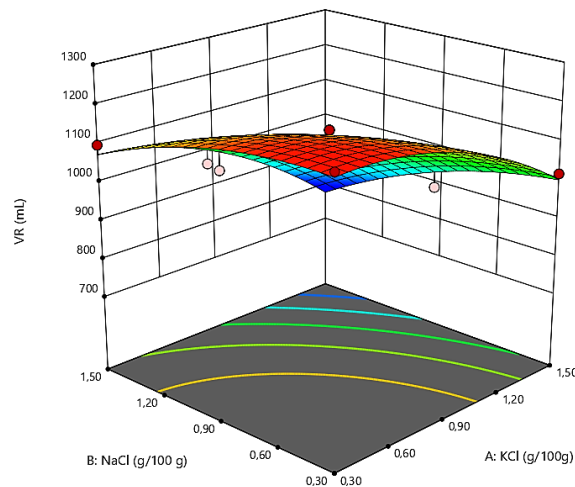
^aSemnificativ la p < 0,01^{***}, la p < 0,05^{**}, la p < 0,1^{*}. ^bA - KCl (g / 100g); B - NaCl (g / 100g); R² ajustat este măsura potrivirii modelului. FN - indicele de cădere; T_g - temperatura la începutul gelatinizării; PV_{max} - vâscozitatea maximă; T_{max} - temperatura la vâscozitatea maximă; H'm - înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT - volumul total de gaze format în aluat; VR - volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR - coeficientul de retenție a gazelor în aluat.



(3.3 a)



(3.3 b)



(3.3 c)

Figura 3.3. Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la reofermentometru: (2.3a) înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare (H'm); (2.3b) volumul total de gaze format în aluat (VT); (2.3c) volumul de retenție a gazelor (VR).

Prin aplicarea metodologiei funcției de dezirabilitate, s-au obținut valorile optime ale variabilelor independente redate în tabelul 3.4.

Tabel 3.4.

Valori optime obținute și valoarea funcției de dezirabilitate

Nr. crt.	Valori reale		
	KCl (g/100g)	NaCl (g/100g)	D
1	0,37	1,31	0,59
2	1,03	0,56	0,44

Proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$) între proba martor și proba optimă (1), cu o scădere de 29,8% a gradului de înmuiere la 10 minute a aluatului și cu 33,33% a timpului de dezvoltare al aluatului. În ceea ce privește valoarea extensibilității obținute la extensograf, s-au obținut date similare, cu o diferență semnificativă doar între rezistența la deformare constantă, pentru care proba obținută cu mixul optim (1) a prezentat valori mai mari. În ceea ce privește proprietățile reologice ale aluatului din timpul procesului de fermentare, proba optimă (1) a prezentat valori mai mari.

Și pentru proba optimă (2) s-au obținut rezultate diferite din punct de vedere semnificativ ($p < 0,05$) pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului. S-a obținut o creștere de 22,22% a stabilității aluatului și o scădere a timpului de dezvoltare al aluatului cu 40,74% pentru proba optimă (2). În ceea ce privește valoarea extensibilității obținute la extensograf, s-a obținut o creștere cu 13,86% a acestei valori pentru proba optimă (2) comparativ cu proba martor. Acest lucru indică faptul că mixul optim de KCl și NaCl are un efect similar clorurii de sodiu la un adaos de 1,5% în făina de grâu asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului. În ceea ce privește proprietățile reologice ale aluatului din timpul fermentării, se poate observa o ușoară diferență între probele comparate, cea optimă (2) prezentând valori mai mari, excepție făcând coeficientul de retenție.

Din punct de vedere al calității pâinii, proba cu mixul optim (1) a prezentat valori mai mari pentru caracteristicile fizice și texturale ale acesteia. Din punct de vedere al culorii miezului, se poate observa că proba cu mixul optim (1) prezintă luminozitate mai mică (valoarea L^*), o tentă de verde mai mare (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mică decât proba martor. Din punct de vedere al culorii cojii, se poate observa că proba cu mixul optim (1) prezintă luminozitate mai mare (valoarea L^*), o tentă de roșu (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mare decât proba martor. Datele obținute pentru proba de pâine cu mixul optim (1) din punct de vedere senzorial au arătat că aceasta a fost mai bine apreciată decât proba martor.

Proba cu mixul optim (2) a prezentat valori mai mici pentru caracteristicile fizice și texturale comparativ cu proba martor. Din punct de vedere al culorii miezului, proba cu mixul optim (2) a prezentat o luminozitate mai mare (valoarea L^*), o tentă de verde mai ridicată (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mică decât proba martor. Din punct de vedere al culorii cojii, se poate observa că proba cu mixul optim (2) prezintă luminozitate mai mică (valoarea L^*), o tentă de roșu (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai ridicată decât proba martor. Datele obținute pentru proba de pâine cu mixul optim (2) din punct de vedere senzorial au arătat că aceasta a fost mai puțin apreciată decât proba martor.

Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute pentru mixurile optime dintre NaCl și KCl este redat în tabelul 3.6. Dintre produsele de panificație obținute doar proba 3 poate fi clasificată conform Comisiei Europene (CE) Regulamentul nr. 1924/2006 privind „mențiunile nutriționale și de sănătate făcute asupra produselor alimentare” ca produs cu un conținut scăzut de sodiu deoarece conținutul de sodiu a fost redus cu cel puțin 25% comparativ cu un produs similar. În general, nivelul clorurii de sodiu se situează în jurul valorii de 1,00-1,50 g / 100 g (390-587 g sodiu/100g) în pâine și produse de panificație. Desigur, valorile pot fi mai mici sau mai mari, în funcție de țară sau tipul de produs de panificație.

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Tabel 3.6.

Nr. crt.	Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute		
	Valori mixuri		Valoare pâine
	KCl (g/100g)	NaCl (g/100g)	Na (mg/100 g)
1	0,00	1,50	424,53±0,2 ^a
2	0,37	1,31	368,22±0,3 ^b
3	1,03	0,51	162,75±0,1 ^c

^{a-c} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,05$)

Capitolul 4 al tezei intitulat „*Cercetări privind efectul adaosului de sare de Marea Moartă cu un conținut redus de sodiu și aluat acid uscat asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii*” analizează efectul a două ingrediente, sarea de Marea Moartă cu un conținut redus de sodiu și aluatul acid uscat obținut din făina de grâu fermentată în diferite combinații utilizând metodologia suprafeței de răspuns asupra proprietăților reologice ale aluatului. Pentru combinațiile optime obținute a fost evaluată calitatea pâinii și conținutul de sodiu al acesteia.

Planul experimental, cu valorile codificate și reale, conține 13 probe și este prezentat în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Valorile codate și reale ale factorilor utilizați în proiectarea experimentală.

Nr. crt.	Valorile codate		Valorile reale	
	X ₁	X ₂	SS (g/100 g)	SD (mg/100 g)
1	0	0	0,9	2,75
2	0	0	0,9	2,75
3	0	0	0,9	2,75
4	0	0	0,9	2,75
5	0	1	0,9	5,00
6	1	1	1,5	5,00
7	1	-1	1,5	0,50
8	-1	0	0,3	2,75
9	0	-1	0,9	0,50
10	0	0	0,9	2,75
11	-1	1	0,3	5,00
12	1	0	1,5	2,75
13	-1	-1	0,3	0,50

SS—sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu; SD—aluat acid uscat.

Răspunsurile (variabilele dependente) sunt valorile corespunzătoare proprietăților reologice de frământare, întindere, vâscozitate ale aluatului și cele obținute pe parcursul fermentării utilizând aparatul reofermentometru. Rezultatele ANOVA aplicate valorilor obținute pentru parametrii reologici de frământare și întindere ale aluatului obținute din mixurile indicate în tabelul 4.1 au indicat faptul că sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu a prezentat un efect semnificativ ($p < 0,01$) asupra WA, DS, E, R₅₀ și R_{max}, în timp ce aluatul acid uscat (SD) a influențat WA, ST, DS și Ext. Creșterea nivelului de aluat acid uscat (SD) în făina de grâu a condus la o creștere a valorilor T_g, T_{max}, CR, E, R₅₀ și R_{max}. În tabelul 4.2, se poate observa că valorile obținute ale coeficienților de determinare ajustate sunt mai mari de 98% (R² ajustat > 0,9816) pentru variabilele dependente WA, ST și DS, ceea ce înseamnă că aceste ecuații prezintă cel mai ridicat nivel de semnificație ($p < 0,0001$).

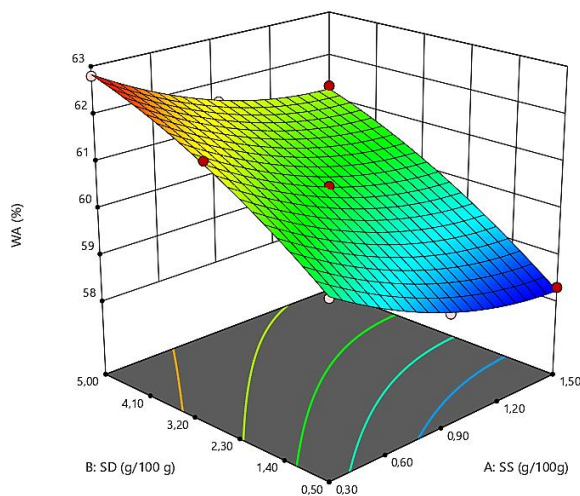
Tabelul 4.2.

Efectele variabilelor independente (sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului

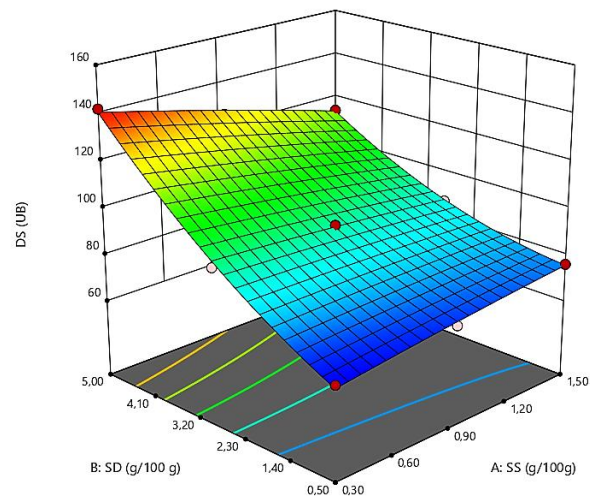
Factori	Parametrii reologici							
	Farinograf				Extensograf (135 min)			
	WA (%)	DT (min)	ST (min)	DS (UF)	E (cm ²)	R ₅₀ (UE)	Ext (mm)	R _{max} (UE)
<i>Constante</i>	60,49	1,52	1,27	92,31	66,00	350,08	122,69	201,08
<i>A</i>	-0,85***	0,067*	0,0000	-4,00***	20,50***	119,17***	-0,1667	122,63***
<i>B</i>	1,45***	+0,10**	-0,7333***	28,50***	-6,00**	46,17**	15,33***	40,18**
<i>A x B</i>	0,05	0,05	-0,0250	-9,50***	-	47,25**	-	53,53**
<i>A²</i>	0,3983***	0,027	0,0586	-0,5862	-	-	-	-
<i>B²</i>	-0,3017***	0,127**	0,4586***	6,91***	-	-	-	-
<i>R²ajustat</i>	0,9964	0,599	0,9816	0,9937	0,9038	0,8407	0,7443	0,8340
<i>Valoarea p</i>	<0,0001***	0,035**	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	0,0002***	0,0004***	0,0002***

Semnificativ la $p < 0,01$ ***, la $p < 0,05$ ** , la $p < 0,1$ *. A - Sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (g / 100 g); B – aluat acid uscat (g/100 g); R² ajustat este o măsură a potrivirii modelului. WA – capacitatea de hidratare; ST - stabilitatea aluatului; DS - grad de înmuiere a aluatului; E - energie; R₅₀ – rezistența la deformare constantă; Ext - extensibilitate; R_{max} - rezistență maxima la întindere.

Mai mult, s-au obținut valori mai mari de 90% (R^2 ajustat > 0,9038) din coeficientul de determinare ajustat pentru variabilele dependente E, T_{max} și respectiv CR. Pentru PV_{max}, VR, DT și T_g, sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu a avut un efect semnificativ ($p < 0,05$). Interacțiunea dintre sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și aluatul acid uscat (SD) asupra valorii WA este prezentată în Figura 4.1 a. După cum se poate observa, ambele variabile independente, individual și în combinație, au prezentat un efect semnificativ ($p < 0,01$) asupra WA. Din Figura 4.1b, se poate observa că ambele variabile independente au un efect statistic semnificativ ($p < 0,01$) asupra gradului de înmuiere a aluatului (DS). Sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu prezintă un efect negativ asupra DS, în timp ce aluatul acid uscat prezintă un efect pozitiv. Reprezentările grafice ale rezistenței la deformare constantă (R₅₀) și rezistența maximă la întindere (R_{max}) determinate la extensograf în raport cu nivelul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și aluat acid uscat (SD) sunt redată în Figura 4.1c, 1d. În aceste cazuri, toți termenii modelului matematic prezintă un efect pozitiv semnificativ ($p < 0,01$) asupra valorilor R₅₀ și R_{max}.



(4.1a)



(4.1b)

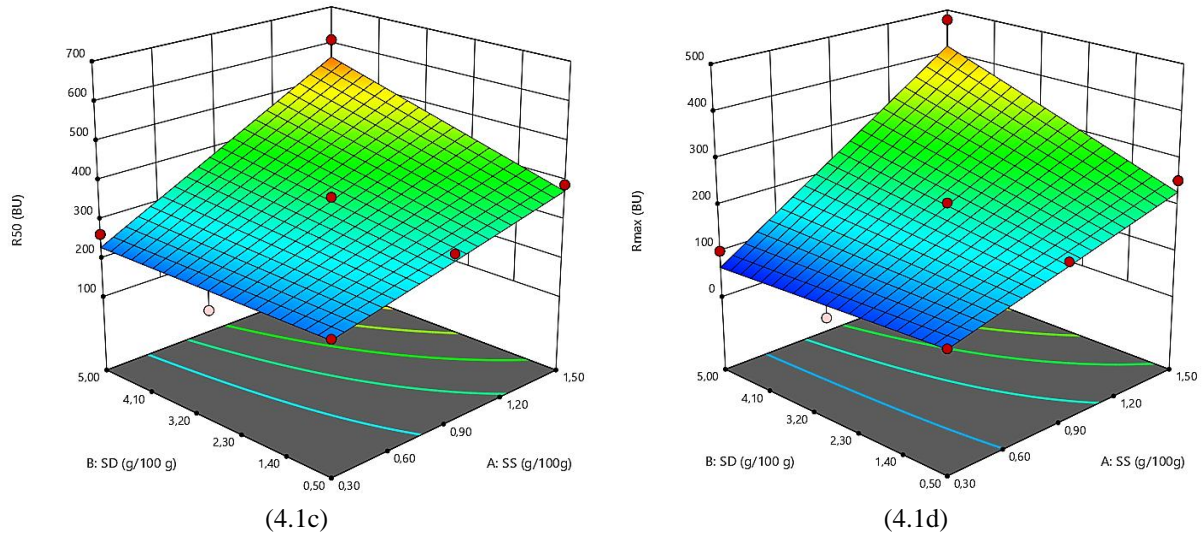


Figura 4.1 Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la Farinograf și Extensograf: (1a) capacitatea de hidratare (WA); (1b) gradul de înmuiere la 10 min (DS); (1c) rezistența la deformare constantă (R_{50}); (1d) rezistență maximă la întindere (R_{max}).

Efectele variabilelor independente, sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și a aluatului acid uscat (SD), asupra proprietăților de vâscozitate ale aluatului obținut din mixurile redată în tabelul 1.1, obținute la Falling Number și Amilograf sunt prezentate în Tabelul 4.3 și Figura 4.2.

Tabelul 4.3.

Efectele variabilelor independente (sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului și comportamentului său la fermentare

Factori	Parametrii							
	FN (s)	T_g (°C)	PV_{max} (UA)	T_{max} (°C)	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constante	341,92	65,68	1112,55	88,92	72,47	1394,00	1186,38	85,19
A	2,00	-3,43	32,83**	0,3833***	-5,30***	-86,00***	-34,33***	3,10***
B	-7,00**	-4,30*	25,50*	0,2833***	3,80***	46,17***	5,33	-2,00***
A x B	-	6,68**	38,00**	0,1000**	-2,62**	-31,00**	-	1,35***
A^2	-	-	2,57	0,2776***	-	-	-	0,2241
B^2	-	-	67,57***	0,1776***	-	-	-	0,2241
R^2 ajustat	0,4106	0,4880	0,7258	0,9711	0,8514	0,8833	0,4985	0,9942
Valoarea p	0,0286**	0,0288**	0,0104**	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	0,0127**	<0,0001***

Semnificativ la $p < 0,01$ ***, $p < 0,05$ ** și $p < 0,1$ *. A - sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (g/100 g); B - aluat acid uscat (g/100 g); R^2 ajustat este o măsură a potrivirii modelului. PV_{max} - vâscozitatea maximă, T_{max} - temperatura la vâscozitatea maximă, T_g - temperatura la începutul gelatinizării, H'm - înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT - volumul total de gaze format în aluat; VR - volumul de retenție, volumul de CO_2 reținut de aluat la sfârșitul testului; CR - coeficientul de retenție a gazelor în aluat.

Aluatul acid uscat (SD) a prezentat un efect semnificativ ($p < 0,1$) asupra tuturor parametrilor de vâscozitate a aluatului, în timp ce sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) a prezentat un efect pozitiv semnificativ ($p < 0,05$) asupra vâscozității maxime (PV_{max}) și a temperaturii la vâscozitatea maximă (T_{max}). Dintre toate modelele predictive obținute pentru parametrilor de vâscozitate a aluatului, cel mai semnificativ ($p < 0,0001$) a fost cel pentru valoarea T_{max} , care a prezentat cea mai mare valoare a coeficientului de determinare ($R^2 = 0,97$). Temperatura la începutul gelatinizării (T_g) a scăzut odată cu scăderea cantității de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și a aluatului acid uscat (SD) din aluat, indicând faptul că în prezența SD și SS gelatinizarea amidonului este

întârziată. Adaosul de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) a condus la o creștere a valorilor PV_{max} și FN.

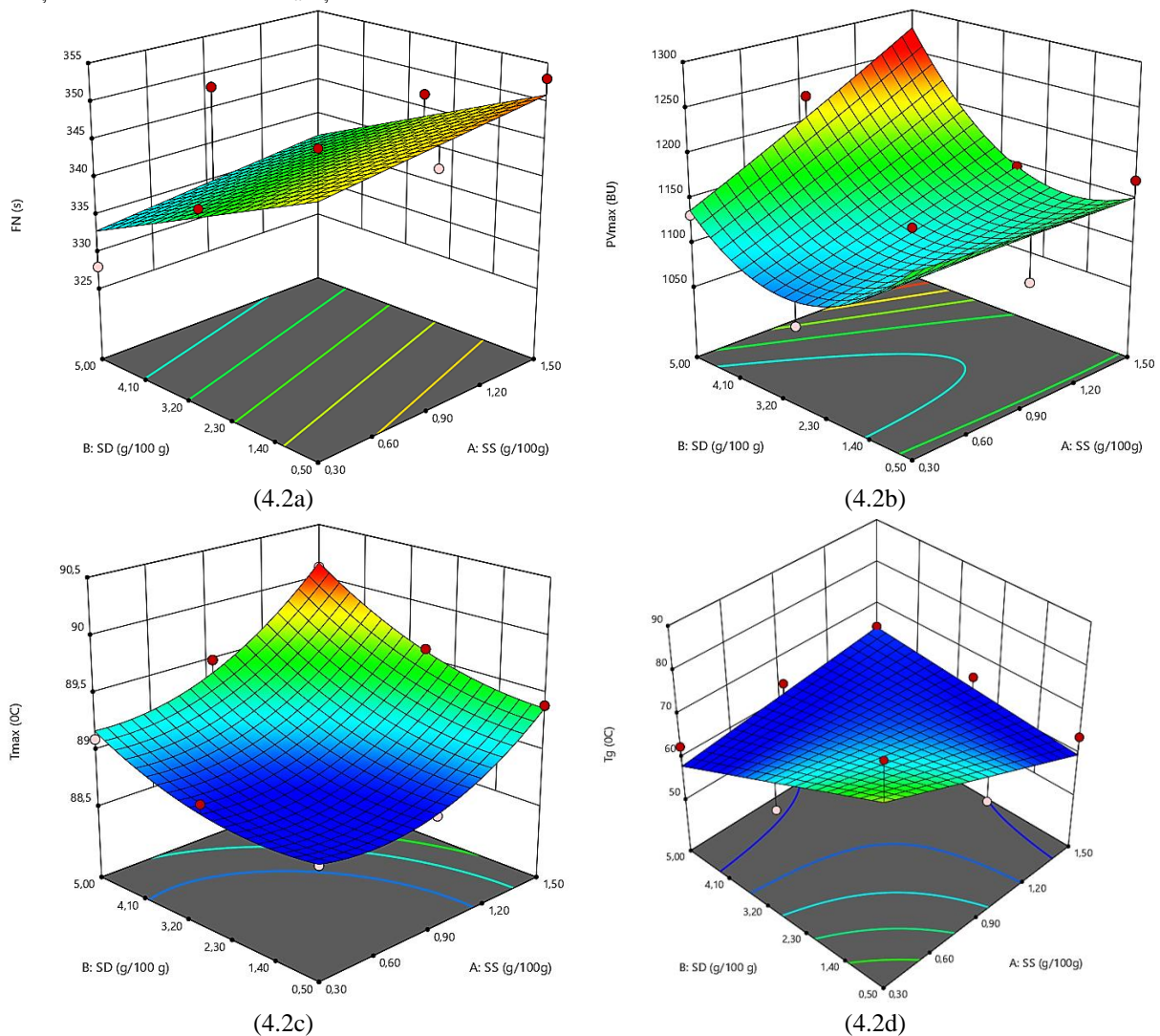


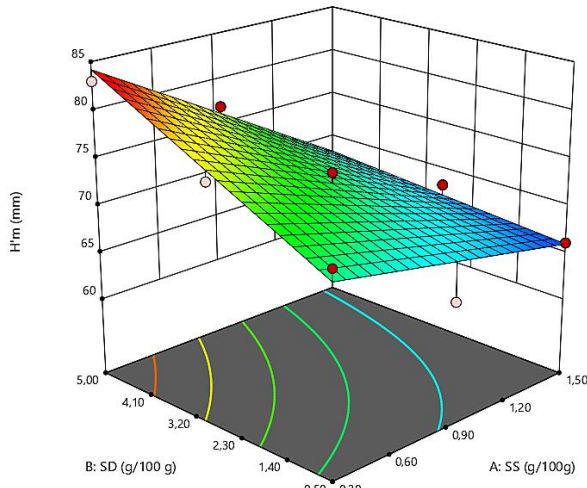
Figura 4.2. Reprezentările grafice pentru proprietățile reologice de vâscozitate ale aluatului: (4.2a) valoarea indicelui de cădere (FN); (4.2b) vâscozitatea maximă (PV_{max}); (4.2c) temperatura la vâscozitatea maximă (T_{max}) și (4.2d) temperatura la începutul gelatinizării (T_g).

Efectele variabilelor independente asupra capacității făinii de a forma și de a reține gazele de fermentare și a dezvoltării aluatului determinate la reofermentometru sunt prezentate în Tabelul 4.3. După cum se poate observa, sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) a prezentat un efect semnificativ asupra tuturor parametrilor reologici de fermentare a aluatului ($p < 0,01$), în timp ce aluatul acid uscat (SD) a avut un efect semnificativ asupra înălțimii maxime a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare ($H'm$), volumul total de gaze format în aluat (VT) și coeficientul de retenție (CR) al probelor. Cu excepția valorii parametrului CR , sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) a prezentat un efect negativ asupra tuturor valorilor obținute în timpul fermentării aluatului, în timp ce aluatul acid uscat (SD) a avut un efect pozitiv.

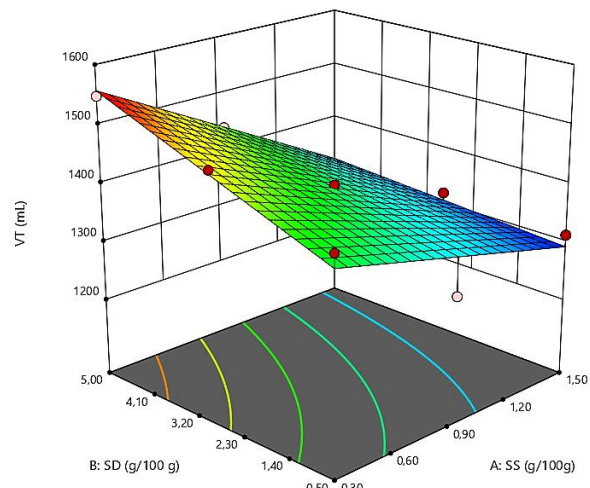
Reprezentarea grafică a lui $H'm$ în raport cu nivelul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și aluat acid uscat (SD) este prezentată în Figura 4.3a. Nivelurile mai ridicate de SS au cauzat o scădere a $H'm$, în timp ce nivelurile mai ridicate de aluat acid uscat (SD) au determinat o creștere a acestui parametru. Din graficul din Figura 4.3b, se poate vedea că sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) are un efect

negativ asupra volumul total de gaze format în aluat (VT), în timp ce aluatul acid uscat (SD) are un efect pozitiv. Aceasta înseamnă că SS scade VT, în timp ce SD îl mărește.

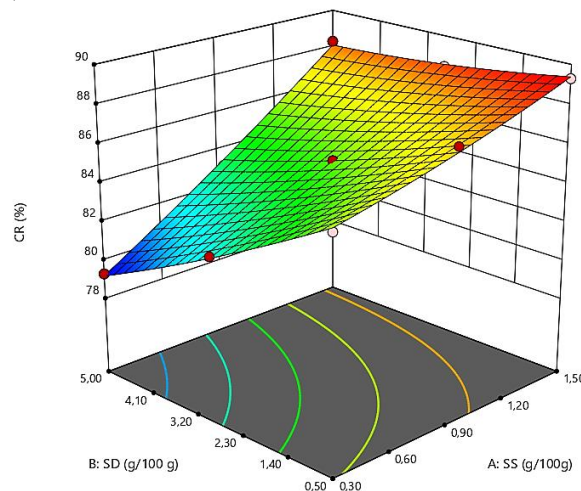
Modelul pătratic pentru coeficientul de retenție (CR) obținut este unul semnificativ ($p < 0.0001$) cu efect negativ dat de aluatul acid uscat (SD) și unul pozitiv dat de sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și interacțiunii dintre SS și SD. Efectele adaosului de SS și SD asupra CR au fost semnificative ($p < 0,01$). Efectul interacțiunilor dintre SS și SD este prezentat în Figura 4.3c. Diagrama conturului indică faptul că odată cu creșterea nivelului de SS coeficientul de retenție a gazelor (CR) a crescut iar printr-o creștere a nivelului de SD, CR a scăzut.



(4.3a)



(4.3b)



(4.3c)

Figura 4.3. Reprezentările grafice ale parametrilor determinați la Reofermentometru: (4a) înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare ($H'm$); (4b) volumul total de gaze format în aluat (VT); și (4c) coeficientul de retenție a gazelor în aluat (CR).

Tabel 4.4
 Valori optime obținute și valoarea funcției de dizabilitate

Nr. crt.	Valori reale		D
	SS (g/100g)	SD (g/100g)	
1	1,39	2,68	0,44
2	1,41	2,71	0,44
3.	1,34	3,01	0,44

Aplicând metodologia funcției de dezirabilitate, s-au obținut nivelurile optime ale variabilelor independente. Un total de 3 soluții au fost generate după optimizarea numerică, soluții redată în tabelul 4.4.

Proprietățile reologice de frământare și vâscozitate ale aluatului sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$) între proba martor și proba optimă. Pentru proba optimă (1), s-a obținut o creștere de 44,22% a gradului de înmuiere la 10 minute a aluatului și o scădere a timpului de dezvoltare al aluatului precum și a stabilității aluatului cu 41,48% respectiv 63%. Pentru proba optimă (2) creșterea a fost de 42,67% a gradului de înmuiere la 10 minute a aluatului și o scădere a timpului de dezvoltare a aluatului precum și a stabilității aluatului cu 40,74% respectiv 62,22% iar pentru proba optimă (3) de 51% a gradului de înmuiere la 10 minute a aluatului și o scădere a timpului de dezvoltare al aluatului precum și a stabilității aluatului cu 41,85% respectiv 66%. În ceea ce privește valoarea extensibilității obținute la extensograf, pot fi observate date similare, cu o diferență semnificativă între probe pentru rezistența la deformare constantă, pentru care proba obținută comparativ cu mixurile optime a prezentat valori mai mari. Acest lucru indică faptul că mixul optim de SS și SD are un efect mai puternic asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul întinderii decât clorura de sodiu la un adaos de 1,5% în făina de grâu. În ceea ce privește proprietățile reologice ale aluatului din timpul fermentării, s-a obținut o ușoară diferență între probele comparate, cele optime prezentând valori mai mari, excepție făcând coeficientul de retenție a gazelor în aluat.

Din punct de vedere al calității pâinii, s-au obținut diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probe pentru caracteristicile senzoriale, texturale și în general de culoare. Probele de pâine cu mixul optim (1, 2 și 3) a prezentat o calitate superioară comparativ cu proba martor din punct de vedere al caracteristicilor fizice. Probele de pâine obținute cu mixul optim (1) și (3) au prezentat valori pentru caracteristicile texturale mai ridicate pentru gumozitate și fermitate și au fost mai bine apreciate din punct de vedere senzorial. Proba cu mixul optim (2) a prezentat valori mai mici pentru coezivitate, gumozitate și reziliență. Din punct de vedere al culorii miezului, se poate observa că probele de pâine cu mixul optim (1, 2 și 3) prezintă luminozitate mai ridicată (valoarea L^*). Proba cu mixul optim (1) a prezentat o tentă de verde mai mare (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mică decât proba martor, cea cu mixul optim (2), o tentă de roșu (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mare decât proba martor, iar cea cu mixul optim (3) o tentă de verde mai mică (valoarea a^*) și de galben (valoare b^*) mai mică decât proba martor. Datele obținute pentru proba de pâine cu mixul optim (1) din punct de vedere senzorial au fost destul de surprinzătoare, deoarece această probă conține o cantitate foarte mică de clorură de sodiu, care provine doar din sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu. Chiar și așa, proba optimă obținută a fost mai bine apreciată decât pentru proba martor.

Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute pentru mixurile optime dintre sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu și aluat acid uscat este redat în tabelul 4.8.

Tabel 4.8.

Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute

Nr. crt.	Valori mixuri			Valoare pâine
	SS (g/100g)	SD (g/100g)	NaCl (g/100g)	Na (mg/100 g)
1	0,00	0,00	1,50	424,53 ± 0.2 ^a
2	1,39	2,68	0,00	78,53 ± 0.5 ^b
3	1,41	2,71	0,00	79,82 ± 0.1 ^b
4	1,34	3,01	0,00	74,92 ± 0.1 ^c

^{a-c} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,05$)

După cum se poate observa din tabelul 4.8, toate cele 3 probe de pâine obținute din mixuri SS-SD au un conținut redus de sodiu conform Comisiei Europene (CE) Regulamentul

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

nr. 1924/2006 privind „mențiunile nutriționale și de sănătate făcute asupra produselor alimentare” cu valori între 0,074 și 0,079 g sodiu la 100 g cu o cantitate de sodiu sub 0,12 g. Nici o probă obținută nu poate fi clasificată ca un produs cu un conținut foarte scăzut de sodiu deoarece prezintă valori mai mari de 0,04 g/100 g sodiu în produs.

Capitolul 5 al tezei intitulat „*Cercetări privind efectul adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii*” analizează efectul sinergic al adaosului de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS), aluat acid uscat (SD) și potențiator de aromă (zahăr fermentat) (FS) asupra proprietăților reologice ale aluatului utilizând metodologia suprafeței de răspuns (RSM). Pentru probele optime din punct de vedere reologic s-au efectuat probe de coacere a căror caracteristici de calitate au fost comparate cu proba martor (proba cu 1,5% NaCl adăugată în făina de grâu). De asemenea, pentru toate probele optime obținute s-a determinat conținutul de sodiu. Cele trei variabile independente (sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat, potențiator de aromă) și valorile lor reale și codificate utilizate în matricea de proiectare experimentală, cuprinzând 20 de experimente, sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1
 Designul experimental cu valori reale și valori codate ale variabilelor independente.

Nr. crt.	Valori reale			Valori codate		
	SS (g/100g)	SD (g/100g)	FS (mL/100g)	X ₁	X ₂	X ₃
1	0,90	2,75	1,10	0	0	0
2	1,50	0,50	1,50	+1	-1	+1
3	0,90	2,75	1,10	0	0	0
4	0,30	5,00	1,50	-1	+1	+1
5	0,90	0,50	1,10	0	-1	0
6	0,90	2,75	1,50	0	0	+1
7	1,50	5,00	0,70	+1	+1	-1
8	1,50	5,00	1,50	+1	+1	+1
9	0,30	0,50	0,70	-1	-1	-1
10	0,30	2,75	1,10	-1	0	0
11	0,30	0,50	1,50	-1	-1	+1
12	0,30	5,00	0,70	-1	+1	-1
13	1,50	0,50	0,70	+1	-1	-1
14	0,90	2,75	0,70	0	0	-1
15	0,90	2,75	1,10	0	0	0
16	0,90	2,75	1,10	0	0	0
17	0,90	5,00	1,10	0	+1	0
18	0,90	2,75	1,10	0	0	0
19	0,90	2,75	1,10	0	0	0
20	1,50	2,75	1,10	+1	0	0

Răspunsurile pentru variabilele independente utilizate în designul experimental sunt prezentate în tabelele 5.2 și 5.3 Pentru răspunsurile proprietăților reologice ale aluatului, valorile experimentale au fost exprimate ca medii ± abateri standard. Analiza statistică a fost efectuată folosind o versiune trial 12 a XLSTAT printr-o analiză a varianței (ANOVA unidirecțională) pentru a evalua diferența dintre medii la $p < 0,05$ cu un test Tukey (la un nivel de semnificație de 5%).

Tabelul 5.2.

Efectele variabilelor independente (zahăr fermentat, sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat) asupra proprietăților reologice de frământare și întindere ale aluatului

Nr. crt.	Farinograf				Extensograf (135 min)			
	WA (%)	ST (min)	DS (UF)	E (cm ²)	R ₅₀ (UE)	Ext (mm)	R _{max} (UE)	R/E
1	58,0 ± 0,41	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
2	55,7 ± 0,70	1,2 ± 0,10	51 ± 0,80	132 ± 4,1	898 ± 8,9	106 ± 1,2	949 ± 9,7	6,8 ± 0,16
3	58,0 ± 0,41	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
4	57,4 ± 0,37	9,6 ± 0,14	44 ± 0,90	95 ± 2,3	545 ± 4,8	116 ± 1,4	627 ± 5,4	5,7 ± 0,13
5	56,4 ± 0,28	3,4 ± 0,14	55 ± 0,80	102 ± 3,0	530 ± 4,7	122 ± 1,1	629 ± 5,4	5,2 ± 0,12
6	59,2 ± 0,28	1,3 ± 0,14	69 ± 1,00	95 ± 2,3	619 ± 5,2	109 ± 1,3	693 ± 6,0	6,4 ± 0,17
7	59,8 ± 0,32	1,0 ± 0,14	97 ± 1,60	82 ± 1,7	590 ± 5,0	103 ± 1,3	620 ± 5,9	6,1 ± 0,13
8	59,6 ± 0,14	0,9 ± 0,14	93 ± 1,60	93 ± 2,3	680 ± 6,2	102 ± 1,3	711 ± 7,8	7,0 ± 0,24
9	57,8 ± 0,13	2,9 ± 0,14	59 ± 0,80	77 ± 2,2	392 ± 5,6	123 ± 1,5	453 ± 4,2	3,7 ± 0,10
10	60,0 ± 0,21	1,4 ± 0,10	81 ± 1,40	73 ± 2,0	430 ± 4,1	117 ± 1,4	466 ± 4,4	4,0 ± 0,10
11	57,4 ± 0,14	9,6 ± 0,14	44 ± 0,80	95 ± 2,3	545 ± 4,8	116 ± 1,4	627 ± 5,4	5,7 ± 0,13
12	61,4 ± 0,14	0,9 ± 0,14	130 ± 2,20	51 ± 0,8	354 ± 5,2	104 ± 1,4	364 ± 5,3	3,5 ± 0,10
13	57,4 ± 0,28	3,5 ± 0,14	56 ± 0,80	119 ± 3,6	671 ± 5,9	119 ± 1,5	784 ± 8,3	6,6 ± 0,18
14	58,9 ± 0,42	1,4 ± 0,10	85 ± 1,40	77 ± 2,2	462 ± 4,4	113 ± 1,3	520 ± 4,6	4,6 ± 0,10
15	58,0 ± 0,28	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
16	58,0 ± 0,28	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
17	60,2 ± 0,14	0,9 ± 0,03	96 ± 1,60	78 ± 2,2	573 ± 4,8	102 ± 1,3	612 ± 5,1	6,0 ± 0,14
18	58,0 ± 0,14	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
19	58,0 ± 0,28	1,4 ± 0,10	76 ± 1,12	95 ± 2,3	611 ± 5,1	110 ± 1,3	665 ± 5,8	6,0 ± 0,14
20	57,8 ± 0,28	1,9 ± 0,14	63 ± 0,90	111 ± 3,4	730 ± 8,1	107 ± 1,2	803 ± 8,5	7,5 ± 0,25

WA – capacitate de hidratare; ST - stabilitatea aluatului; DS - grad de înmuiere la 10 minute; E - Energie; R₅₀ - rezistență la deformare constantă; Ext - Extensibilitate; R_{max} - rezistență maxima la întindere; R/E - valoarea raportului dintre rezistență și extensibilitate la un timp de 135 min.

Tabelul 5.3

Efectele variabilelor independente (zahăr fermentat, sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat) asupra proprietăților reologice de vâscozitate și fermentare ale aluatului

Nr. crt.	Răspunsuri					
	PV _{max} (UA)	T _{max} (°C)	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
1	1245 ± 5,66	89,8 ± 0,3	72,5 ± 1,1	1267 ± 6,7	1122 ± 8,1	88,5 ± 0,9
2	1368 ± 1,41	89,8 ± 0,3	55,1 ± 0,7	1213 ± 6,5	1023 ± 7,8	84,3 ± 0,7
3	1245 ± 2,83	89,8 ± 0,3	72,4 ± 1,1	1266 ± 6,6	1120 ± 8,0	88,4 ± 0,9
4	1251 ± 1,84	89,3 ± 0,2	37,2 ± 0,8	601 ± 4,2	589 ± 5,2	98,0 ± 1,2
5	1218 ± 1,41	89,4 ± 0,3	62,5 ± 1,1	1222 ± 8,3	1104 ± 7,8	90,3 ± 1,0
6	1207 ± 1,13	89,1 ± 0,3	70,6 ± 1,0	1103 ± 9,6	1002 ± 7,2	90,8 ± 0,7
7	1265 ± 2,12	90,3 ± 0,4	64,0 ± 0,85	1301 ± 4,0	1119 ± 8,3	86,0 ± 0,5
8	1252 ± 2,10	89,5 ± 0,3	60,0 ± 0,8	1272 ± 6,7	1049 ± 8,1	82,4 ± 0,3
9	1113 ± 1,10	89,1 ± 0,3	70,6 ± 0,9	1376 ± 6,8	1213 ± 6,6	88,1 ± 0,4
10	1198 ± 1,15	89,5 ± 0,4	75,6 ± 1,0	1427 ± 6,9	1215 ± 6,8	85,1 ± 0,4
11	1251 ± 2,10	89,3 ± 0,4	37,2 ± 0,5	601 ± 3,1	589 ± 3,4	98,0 ± 0,2
12	1107 ± 1,20	89,3 ± 0,4	81,0 ± 1,5	1538 ± 8,1	1216 ± 6,5	79,0 ± 0,3
13	1286 ± 2,30	89,8 ± 0,4	64,1 ± 0,8	1279 ± 6,8	1132 ± 7,9	88,5 ± 0,6
14	1270 ± 2,13	89,3 ± 0,4	72,3 ± 1,1	1364 ± 6,7	1161 ± 6,3	85,1 ± 0,6
15	1245 ± 2,10	89,8 ± 0,5	72,5 ± 1,1	1267 ± 6,7	1122 ± 7,3	88,5 ± 0,7
16	1245 ± 2,10	89,8 ± 0,5	72,3 ± 1,1	1264 ± 6,2	1120 ± 7,2	88,6 ± 0,7
17	1250 ± 2,13	90,3 ± 0,6	75,9 ± 1,2	1405 ± 5,9	1244 ± 6,8	88,5 ± 0,7
18	1245 ± 2,10	89,8 ± 0,5	72,4 ± 1,1	1266 ± 8,4	1120 ± 7,2	88,4 ± 0,5
19	1245 ± 2,10	89,8 ± 0,5	72,3 ± 1,1	1267 ± 7,9	1121 ± 7,2	88,4 ± 0,7
20	1315 ± 2,83	90,0 ± 0,5	67,2 ± 1,0	1276 ± 8,1	1108 ± 6,8	86,8 ± 0,7

PV_{max} - vâscozitatea maximă, T_{max} - temperatura la vâscozitate maximă, H'm - înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT - volumul total de gaze format în aluat; VR - volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR - coeficientul de retenție a gazelor în aluat.

Efectul adaosului de SS, SD și FS în făina de grâu asupra proprietăților reologice de frământare a aluatului determinate la farinograf exprimate prin modelele lor pătratice sunt

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

prezentate în tabelul 3.4. Rezultatele ANOVA indică faptul că modelele obținute au fost semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0.001$) pentru stabilitatea aluatului (ST), gradul de înmuiere la 10 minute (DS) și capacitatea de hidratare (WA) cu valori ridicate R^2 ajustate pentru parametrii ST și DS.

Tabelul 5.4.

Efectele variabilelor independente (zahăr fermentat, sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de frământare și întindere ale aluatului

Factori	Parametrii reologici							
	Farinograf			Extensograf (135 min)				
	WA (%)	ST (min)	DS (UF)	E (cm ²)	R ₅₀ (UE)	Ext (mm)	R _{max} (UE)	R/E
Constante	+58,28	+1,20	+76,11	+92,50	+591,45	+110,95	+648,95	+5,89
X ₁	-0,37	+1,59**	+0,20	+14,60**	+130,30**	-3,90**	+133,00**	+1,14
X ₂	+1,37**	-0,73	+19,50**	-12,60**	-29,40*	-5,90**	-50,80**	+0,03
X ₃	-0,60*	+1,29	-12,60**	+10,40**	+81,80**	-1,30*	+86,60**	+0,71
X ₁ ×X ₂	+0,34	-0,10	+1,50	-6,25**	-32,62	-0,12	-39,12**	-0,012
X ₁ ×X ₃	+0,31	-2,22**	+11,50**	-4,75*	-3,37	-2,37**	-22,62	-0,39
X ₂ ×X ₃	-0,26	+0,53	-8,75*	+3,00	-12,37	+3,88**	+1,88	+0,11
X ₁ ²	+0,20	+0,74	-4,27	+2,45	+17,86	+0,59	+9,64	+0,036
X ₂ ²	-0,40	+1,24	-0,77	+0,45	-10,64	+0,59	-4,36	-0,11
X ₃ ²	+0,35	+0,44	+0,73	-3,55	-21,64	-0,41	-18,36	-0,21
R ² ajustat	0,62	0,78	0,82	0,92	0,87	0,85	0,90	0,85
Abaterea standard	0,91	1,20	8,81	5,00	43,80	2,43	40,33	0,41
Valoarea p	0,0003**	0,001**	<0,0001**	<0,0001**	<0,0001**	0,0002**	<0,0001**	0,0002**

*Semnificativ la $p < 0,01$ **, la $p < 0,05$ *; ^aX₁ - SS (g / 100g); X₂ - SD (g / 100g); X₃ - FS (mL / 100g); R² ajustat este măsura potrivirii modelului; WA - capacitate de hidratare; ST - stabilitatea aluatului; DS - grad de înmuiere la 10 minute; E - Energie; R₅₀ - rezistența la deformare constantă; Ext - Extensibilitate; R_{max} - rezistență maxima la întindere; R/E - valoarea raportului dintre rezistență și extensibilitate la un timp de 135 min.

Pentru valoarea timpului de dezvoltare a aluatului (DT), nu s-a obținut nici un model semnificativ. O valoare p mai mică de 0,0500 indică faptul că termenii modelului sunt semnificativi. Prin urmare, s-a obținut o valoare p = 0,84 (pentru modelul liniar), valoarea p = 0,93 pentru modelul 2FI, valoarea p = 0,97 pentru modelul pătratic. În acest caz, nu există termeni ai modelului semnificativi. Valorile lui p mai mari de 0,1 indică faptul că termenii modelului matematic nu sunt semnificativi. Cele mai semnificative modele au fost obținute pentru ST - R² ajustat = 0,78 și respectiv DS - R² ajustat = 0,82, urmate de cele obținute pentru WA pentru care R² ajustat = 0,62. Coeficienții de regresie liniară SS și FS au prezentat un efect negativ asupra WA, în timp ce termenul SD a prezentat unul pozitiv asupra valorii WA.

Asupra stabilității aluatului, SS și FS au un efect pozitiv, în timp ce SD are unul negativ, așa cum se poate observa din Figura 3 a, b. Acest lucru indică faptul că SS și FS au un efect de întărire asupra aluatului din făină de grâu. Asupra gradului de înmuiere a aluatului, SS și FS au prezentat un efect negativ, în timp ce SD unul pozitiv, după cum se poate vedea din Figura 3c, d. Efectul acestor variabile independente asupra valorii răspunsului DS confirmă comportamentul raportat anterior că adaosul de SS și FS întărește aluatul, în timp ce SD îl slăbește.

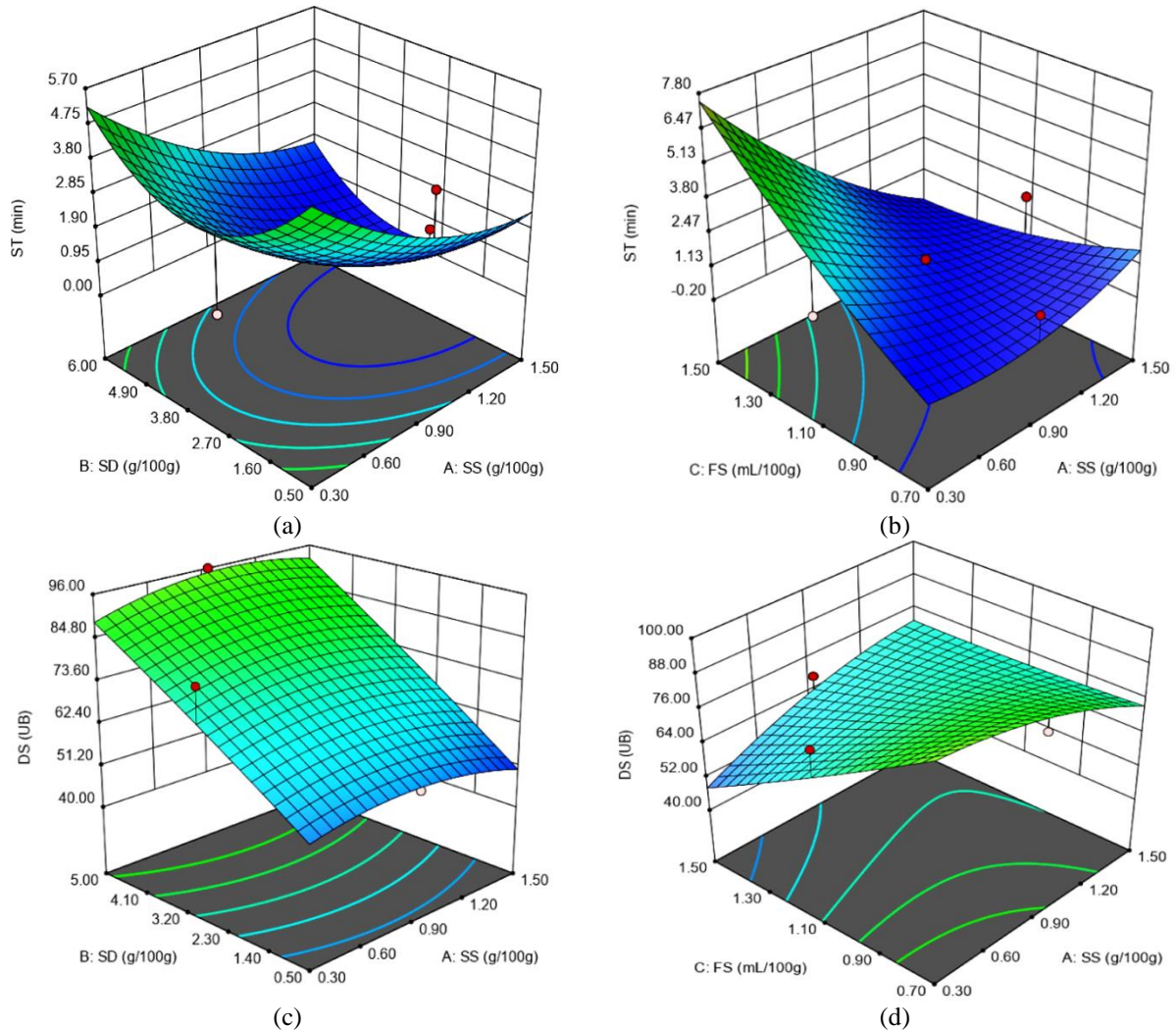


Figura 5.1 Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la Farinograf: (a) stabilitatea aluatului (ST) la diferite doze de SS și SD încorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (ml / 100 g) zahăr fermentat; (b) stabilitatea aluatului (ST) la diferite doze de SS și SD încorporate în făina de grâu la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat; (c) gradul de înmuiere la 10 minute (DS), la diferite doze de sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS) și aluat acid uscat (SD) încorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (mL/100g) zahăr fermentat; (d) gradul de înmuiere la 10 minute (DS), la diferite doze de zahăr fermentat (FS) și sare din Marea Moartă (SS) încorporate în făina de grâu la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat.

Pentru valorile obținute la extensograf: energia (E), rezistența la deformare constantă (R_{50}), extensibilitatea (Ext), rezistența maximă la întindere (R_{max}) și valoarea raportului dintre rezistență și extensibilitate la un timp de 135 min (R/E) s-au obținut modele pătratice influențate de SS, SD și adaosul de FS în aluat. Toate modelele pătratice obținute pentru parametrii reologici de întindere a aluatului obținuți la extensograf au fost semnificative ($p < 0,001$) cu un R^2 ajustat mai mare de 0,85 pentru toate variabilele dependente, după cum se poate observa din Tabelul 3.2. Efectul adaosului de SS și FS a fost unul pozitiv semnificativ ($p < 0,01$) asupra variabilelor E, R_{50} , R_{max} și R/E, în timp ce SD a avut un efect negativ asupra acestor variabile. Efectul acțiunii sinergice a variabilelor independente SS-SD și SS-FS asupra parametrilor reologici determinați la extensograf a condus la obținerea unor modele pătratice semnificative pentru variabilele dependente E, R_{max} , așa cum se poate vedea din figurile 5.2 a, b, c, d.

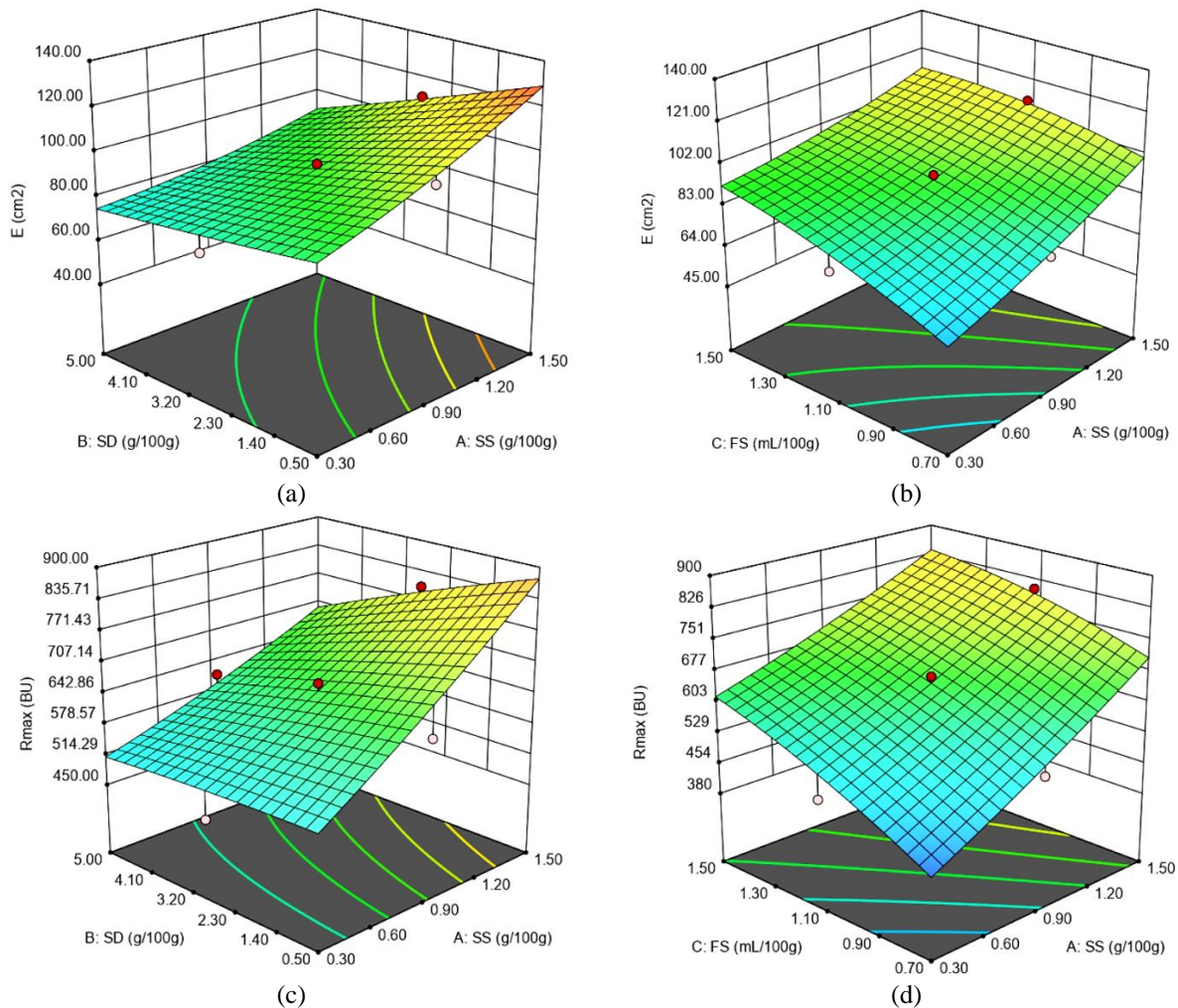


Figura 5.2. Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la extensograf: (a) energia (E) la diferite doze de SS și SD încorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (ml / 100 g) zahăr fermentat; (b) energia (E) la diferite doze de SS și FS încorporate în făina de grâu la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat; (c) rezistență maximă la întindere (R_{max}) la diferite doze de SS și SD încorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (mL/100g) zahăr fermentat; (d) rezistența maximă la întindere (R_{max}) la diferite doze de SS și FS încorporate în făina de grâu la un adaos de 2,75 (g / 100g) aluat acid uscat

Rezultatele analizei modelelor obținute pentru parametrii reologici determinați la amilograf au arătat un efect pătratic semnificativ al SS, SD și FS asupra vâscozității maxime (PV_{max}) și a temperaturii la vâscozitatea maximă (T_{max}), în timp ce pentru temperatura la începutul gelatinizării (T_g , °C), nu s-a obținut nici un model semnificativ. Modelele matematice obținute pentru temperatura la începutul gelatinizării (T_g , °C) nu au fost semnificative deoarece s-au obținut următoarele valori ale lui p: valoarea $p = 0,062$ (pentru modelul liniar), valoarea $p = 0,2243$ (pentru modelul 2FI) și valoarea $p = 0,2282$ (pentru modelul pătratic). Analiza experimentală de modelare a valorilor obținute la amilograf este prezentată în Tabelul 5.5. Cel mai semnificativ model obținut pentru valorile determinate la amilograf a fost cel obținut pentru T_{max} , unde R^2 ajustat = 0,71 urmat de cel obținut pentru PV_{max} unde R^2 ajustat = 0,65.

Se poate constata un efect pozitiv asupra PV_{max} produs de termenii liniari SS și FS, în timp ce unul negativ a fost produs de termenii liniari SD și de termenii de interacțiune dintre variabilele independente SS, SD și FS, așa cum se poate vedea din figurile 5.3 a, b. Pentru valoarea T_{max} , un efect pozitiv a fost produs de termenii liniari SS, SD și interacțiunile dintre ei, și unul negativ de FS și interacțiunea dintre variabilele SS, SD și independente SS și SD, așa cum se poate observa din Figurile 3.3 c, d.

Tabelul 5.5.

Efectele variabilelor independente (zahăr fermentat, sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat) asupra modelelor predictive pentru proprietățile reologice de vâscozitate și de fermentare ale aluatului

Factori	Parametri reologici					
	PV _{max} (UA)	T _{max} (°C)	H'm (mm)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)
Constante	+1241,35	+89,75	+73,65	+1229,95	+1147,61	+88,22
X ₁	+56,60**	+0,29**	+0,88	+79,80*	+60,90*	-2,02**
X ₂	-11,10	+0,13*	+2,86	+42,60	+15,60	-1,53*
X ₃	+28,80*	-0,08	-9,19**	-206,80**	-158,90**	+2,68**
X ₁ × X ₂	-16,37	+0,001	-0,70	-10,12	+1,25	+0,59
X ₁ × X ₃	-26,62	-0,12*	+8,03**	+202,13**	+134,00**	-4,59**
X ₂ × X ₃	-11,12	-0,12*	-0,67	-15,62	+4,50	+1,21*
X ₁ ²	+10,64	+0,077	-4,13	+5,86	-26,27	-1,91
X ₂ ²	-11,86	+0,18	-6,33*	-32,14	-13,77	+1,54
X ₃ ²	-7,36	-0,47*	-4,08	-112,14	-106,27	+0,091
R ² ajustat	0,65	0,71	0,75	0,80	0,77	0,83
Abaterea standard	34,95	0,19	5,81	103,26	84,20	1,79
Valoarea p	0,00123**	0,0045**	0,0022**	0,0007**	0,0014**	0,0003**

*Semnificativ la p < 0,01 **, p < 0,05 * .^aX₁ - SS (g / 100g); X₂ - SD (g / 100g); X₃- FS (mL / 100g); R² ajustat este măsura potrivirii modelului. PV_{max} - vâscozitatea maximă, T_{max} - temperatura la vâscozitatea maximă, H'm - înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare; VT - volumul total de gaze format în aluat; VR - volumul de retenție, volumul de CO₂ reținut de aluat la sfârșitul testului; CR - coeficientul de retenție a gazelor în aluat.

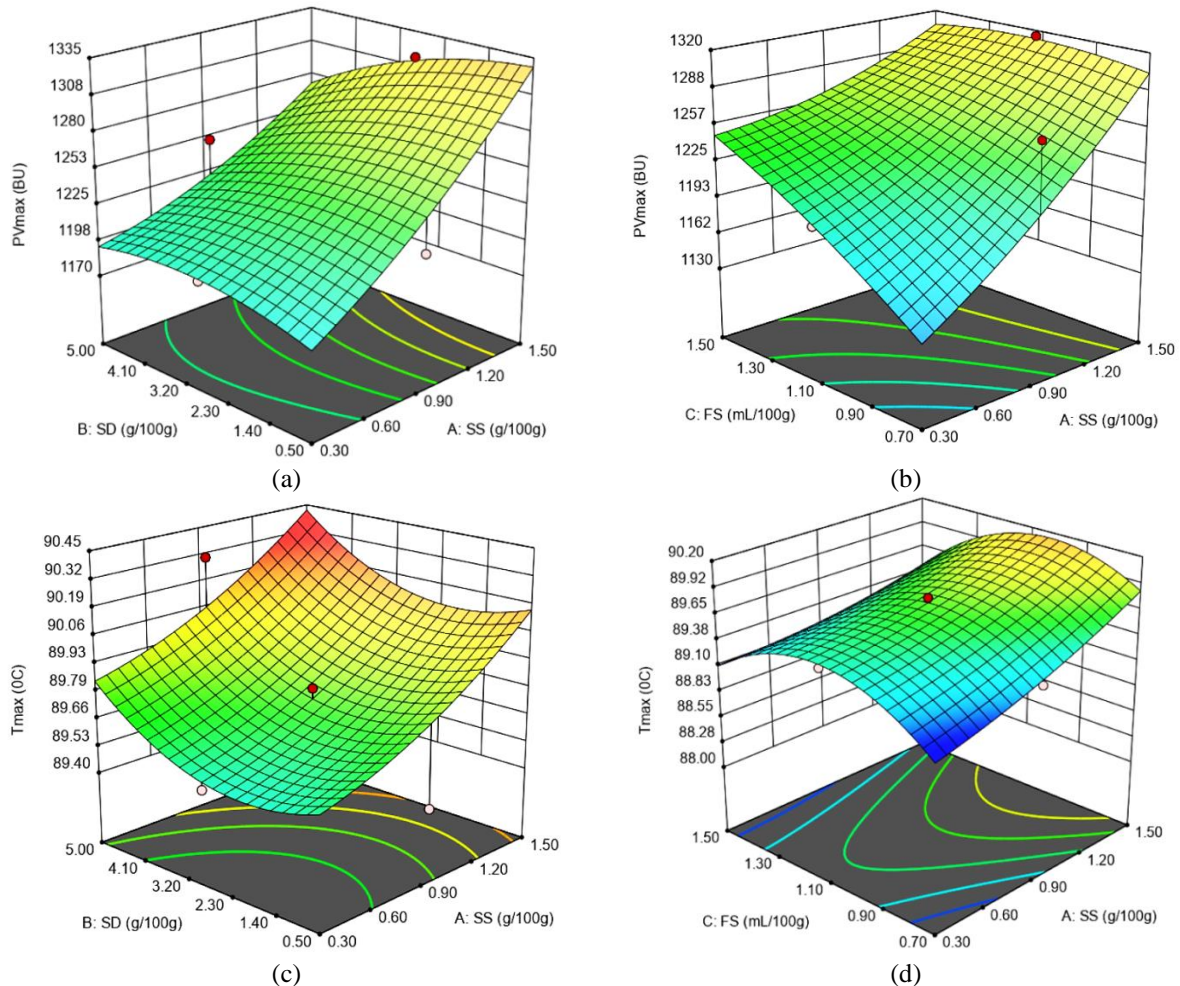


Figura 5.3. Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la Amilograf: (a) vâscozitatea maximă (PV_{max}) la diferite doze de SS și SD incorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (mL / 100g) zahăr fermentat; (b) vâscozitatea maximă (PV_{max}) la diferite doze de SS și FS la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat; (c) temperatura la vâscozitate maximă (T_{max}), la diferite doze de SS și SD la un adaos de 1,10 (mL/100g) zahăr fermentat; (d) temperatura la vâscozitate maximă (T_{max}), la diferite doze de SS și FS la un adaos de 2,75 (g / 100g) aluat acid uscat.

Parametrii reologici ai aluatului înregistrați în timpul fermentării cu aparatul reofermentometru au fost: înălțimea maxima a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare (H'_m), volumul total de gaze format în aluat (VT), volumul de retenție, volumul de CO_2 reținut de aluat la sfârșitul testului (VR), coeficientul de retenție a gazelor în aluat (CR). În tabelul 5.5 sunt prezentate modelele obținute pentru acești parametri și coeficienții de regresie. Pentru toate valorile obținute la aparatul reofermentometru, termenul liniar FS și interacțiunea dintre SS și FS a avut din punct de vedere statistic o influență semnificativă ($p < 0,01$). Modele obținute pentru H'_m , VR și CR au fost pătratice, fiind influențate de cantitatea de SS, SD și FS adăugată în aluat. Toate modelele obținute pentru proprietățile reologice determinate cu aparatul reofermentometru au fost semnificative ($p < 0,01$), ceea ce reflectă faptul că sunt capabile să descrie relația dintre SS, SD, FS și variabilele dependente. Conform valorilor R^2 ajustate, cele mai semnificative modele matematice au fost cele obținute pentru VT (R^2 ajustat = 0,80) și CR (R^2 ajustat = 0,83), urmate de cele obținute pentru VR (R^2 ajustat = 0,77) și H'_m (R^2 ajustat = 0,75). Efectele factorilor de interacțiune (SS-SD; SS-FS) obținute pentru parametrii VT și CR sunt prezentate în Figura 5.4.

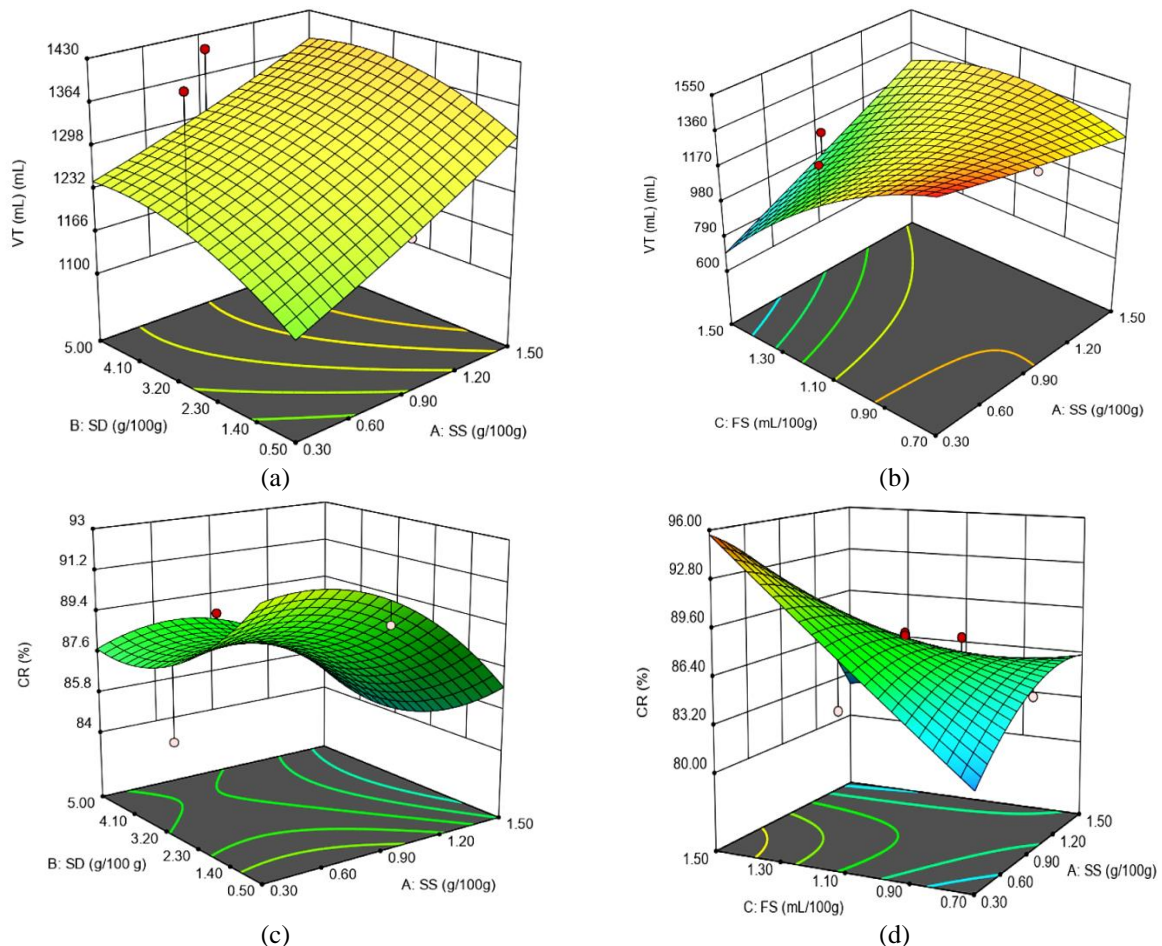


Figura 5.4. Reprezentările grafice ale parametrilor obținuți la reofermentometru: (a) volumul total de gaze format în aluat (VT) la diferite doze de SS și SD incorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (mL / 100g) zahăr fermentat; (b) volumul total de gaze format în aluat (VT) la diferite doze de SS și FS la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat; (c) coeficientul de retenție (CR) la diferite doze de SS și SD incorporate în făina de grâu la un adaos de 1,10 (mL / 100g) zahăr fermentat; (d) coeficientul de retenție (CR) la diferite doze de SS și FS la un adaos de 2,75 (g/100g) aluat acid uscat.

Cercetări privind reducerea conținutului de sodiu în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Mixurile optime obținute pentru răspunsurile primare (valorile parametrilor reologici ai aluatului) și valoarea funcției de dizabilitate sunt redată în tabelul 5.6.

Tabel 5.6

Valori optime obținute și valoarea funcției de dizabilitate

Nr. crt.	Valori reale			
	SS (g/100g)	SD (g/100g)	FS (mL/100g)	D
1	0,30	0,50	1,02	0,61
2	0,30	0,50	0,96	0,57
3	0,30	0,56	0,99	0,57
4	0,30	0,50	0,92	0,56
5	0,43	0,50	0,74	0,55
6	0,30	2,15	1,16	0,52
7	0,30	3,07	1,14	0,53
8	0,53	5,00	1,28	0,35
9	1,5	4,15	0,70	0,31

În general, au existat diferențe semnificative între proprietățile reologice ale aluatului pentru probele optime și proba martor. De asemenea, caracteristicile de calitate ale probelor obținute cu mixurile optime au fost adecvate, acestea fiind bine apreciate de către evaluatori.

Conținutul de sodiu al probelor de pâine cu adaos de 1,5% NaCl și a probelor obținute din mixurile optime dintre sarea din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu, aluat acid uscat și potențiator de aromă este redată în tabelul 5.24.

Tabel 5.24

Conținutul de sodiu al probelor de pâine obținute

Nr. crt.	Valori mixuri				
	SS (g/100g)	SD (g/100g)	FS (mL/100g)	NaCl (g/100g)	Na (mg/100 g)
1	0,00	0,00	0,00	1,50	424,53±0.2 ^a
2	0,30	0,50	1,02	0,00	25,32±0.05 ^e
3	0,30	0,50	0,96	0,00	24,14±0.06 ^g
4	0,30	0,56	0,99	0,00	24,72±0.04 ^f
5	0,30	0,50	0,92	0,00	23,81±0.02 ^h
6	0,43	0,50	0,74	0,00	32,54±0.04 ^d
7	0,30	2,15	1,16	0,00	25,62±0.02 ^e
8	0,30	3,07	1,14	0,00	25,48±0.09 ^e
9	0,53	5,00	1,28	0,00	37,22±0.01 ^c
10	1,5	4,15	0,70	0,00	83,21±0.04 ^b

^{a-h} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,001$)

După cum se poate observa din tabelul 5.24, produsele de panificație obținute pentru mixul SS-SD-FS vor prezenta valori între 0,023 și 0,083 g sodiu la 100 g, ceea ce le va clasifica drept produse cu un nivel scăzut și foarte scăzut de sodiu conform Comisiei Europene (CE) Regulamentul nr. 1924/2006 privind „mențiunile nutriționale și de sănătate făcute asupra produselor alimentare”. Dintre probele de pâine obținute doar proba 10 este o probă de pâine cu un conținut scăzut de sodiu, celelalte 8 probe de pâine sunt probe cu un conținut foarte scăzut de sodiu cu valori sub 0,04 g sodiu/100 g produs.

În finalul tezei de doctorat sunt cuprinse **Concluziile generale. Contribuții originale și perspective.** Pentru rezultatele obținute se pot enumera o serie de concluzii principale:

1. Proprietățile reologice ale aluatului obținute din făină albă de grâu descrise la farinograf, extensograf, amilograf, reofermentometru sunt influențate de procentul de sare adăugat. Indiferent de tipul de sare (KCl, NaCl, SS) adăugat în aluat comportamentul reologic

al aluatului a fost similar ceea ce indică faptul că din punct de vedere tehnologic NaCl poate fi înlocuită cu succes cu alte tipuri de sare.

2. În urma analizei farinografice timpul de dezvoltare a aluatului și stabilitatea acestuia au crescut proporțional cu doza de sare adăugată în aluat în timp ce gradul de înmuiere după 10 minute a aluatului și capacitatea de hidratare a făinii de grâu a scăzut. Toți parametrii reologici de vâscozitate (vâscozitatea maximă, indicele de cădere, temperatura de gelatinizare, temperatura la vâscozitatea maximă a aluatului) au crescut proporțional cu doza de sare adăugată în aluat. În ceea ce privește comportamentul aluatului în timpul fermentării, adaosul de sare a îmbunătățit valorile obținute la reofermentometru până la un adaos de 0,6% sare care a prezentat valori maxime pentru înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare ($H'm$), volumul total de gaze format în aluat (VT), volumul total de gaze reținut în aluat în timpul procesului de fermentare (VR). După acest procent de 0,6% sare adăugată în aluat valoarea acestor parametri a început să scadă.

3. Din punct de vedere al caracteristicilor fizice ale pâinii (volum specific, porozitate, elasticitate) adaosul de NaCl a înregistrat cele mai bune rezultate la un adaos de 1,2% în făina de grâu în timp ce KCl și SS la un adaos de 0,6% în făina de grâu. Totuși între probele cu 0,6%, 0,9% și 1,2% adaos de KCl și SS nu s-au obținut diferențe semnificative ($p < 0.05$) din punct de vedere al volumului specific al pâinii, probabil datorită faptului că CR a crescut prin adaosul de NaCl și KCl adăugat în făina de grâu în timp ce în cazul adaosului de SS valoarea acestuia a fost maximă la 0,9% SS adăugată în aluat. Din punct de vedere al culorii, se poate observa că, în general, probele cu adaos de sare sunt mai închise la culoare. În ceea ce privește parametrii de textură a probelor de pâine, adăugarea de sare la doze ridicate a redus semnificativ valorile de fermitate și gumozitate a pâinii comparativ cu proba martor. Coezivitatea și reziliența au scăzut atunci când SS și KCl au fost adăugate în rețeta de pâine și au crescut în cazul adăugării de NaCl în făina de grâu. Senzorial, probele de pâine cu adaos de 1,2% NaCl, 0,6% KCl și 1,5% SS au fost cel mai bine apreciate de către consumatori din punct de vedere al acceptabilității globale.

4. Din punct de vedere al conținutului de sodiu din produsele finite obținute cu diferite tipuri de sare adăugată în făina de grâu acestea pot fi încadrate ca produse cu un conținut foarte scăzut de sodiu dacă conțin KCl sau cu 0,3, 0,6% SS în aluat. Probele de pâine cu doze de 0,9, 1,2, 1,5% SS și 0,3% NaCl în făina de grâu pot fi încadrate ca produse cu conținut redus de sodiu.

5. Optimizarea rețetei de fabricație a pâinii și a procesului tehnologic pe baza proiectării statistice a experimentului utilizând ca variabile independente KCl și NaCl a condus la 2 mixuri optime și anume 0,37% KCl și 1,31% NaCl, respectiv 1,03% KCl și 0,51% NaCl care pot fi adăugate în făina de grâu. Efectul combinat al NaCl și KCl asupra proprietăților reologice ale aluatului a fost similar cu cel raportat în cazul adaosului singular a acestora în făina de grâu. Comparativ cu proba martor (proba obținută cu 1,5% NaCl adăugată în făina de grâu), pâinea obținută din mixul optim (1) a înregistrat cele mai bune rezultate din punct de vedere calitativ. Totuși, din punct de vedere nutrițional doar proba obținută cu mixul (2) poate fi încadrată ca produs de panificație cu un conținut redus de sodiu deoarece conținutul de sodiu a fost redus cu cel puțin 25% comparativ cu un produs similar.

6. Utilizând metodologia suprafețelor de răspuns s-a investigat și influența a două variabile independente: aluat acid uscat (SD) și sare din Marea Moartă cu un conținut redus de sodiu (SS), la diferite niveluri de variație, asupra unor variabile dependente, reprezentate de valorile parametrilor reologici de frământare, întindere, vâscozitate și fermentare a aluatului. În general, variabilele independente utilizate au prezentat un efect contrar. În timpul frământării și întinderii, SS întărește aluatul din făină de grâu, în timp ce SD îl slăbește. În ceea ce privește proprietățile de vâscozitate, SS a crescut PV_{max} și valorile indicelui de cădere,

în timp ce SD le-a scăzut. Asupra valorilor obținute la reofermentometru, SS a prezentat un efect negativ, în timp ce SD a prezentat unul pozitiv, cu excepția valorii parametrului CR.

7. Din punct de vedere al caracteristicilor de calitate a probelor obținute din mixurile optime de SS și SD (1,39% SS - 2,68% SD; 1,41% SS- 2,71% SD și 1,34 % SS- 3,01% SD) adăugate în făina de grâu acestea au prezentat caracteristici fizice și senzoriale superioare comparativ cu proba martor. Toate probele optime obținute pot fi încadrate ca probe de pâine cu conținut redus de sodiu.

8. Proiectarea experimentelor pentru obținerea unor probe de pâine optime din punct de vedere al proprietăților reologice evaluate utilizând trei variabile independente și anume sare din Marea Moartă cu conținut redus de sodiu (SS), aluat acid uscat (SD), zahăr fermentat (FS) a condus la 9 mixuri optime și anume (0,30% SS- 0,50 % SD - 1,02 mL FS; 0,30 % SS - 0,50 % SD- 0,96 mL FS; 0,30% SS- 0,56%SD- 0,99 mL FS; 0,30%SS-0,50%SD-0,92 mL FS; 0,43% SS- 0,50% SD- 0,74 mL FS; 0,30 %SS-2,15%SD-1,16 mL FS; 0,30%SS,- 3,07%SD -1,14 mL FS; 0,53 % SS -5,00 % SD - 1,28 mL FS și 1,50% SS - 4,15 % SD - 0,70 mL FS) adăugat în făina de grâu.

9. Din toate variabilele independente utilizate, se pare că numai SD prezintă un efect semnificativ asupra gradului de înmuiere a aluatului, printr-o scădere a stabilității aluatului ($p < 0,01$) și o creștere a gradului de înmuiere a aluatului la 10 minute ($p < 0,01$). De asemenea, SD a prezentat de asemenea un efect semnificativ ($p < 0,01$) de înmuiere asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului printr-o scădere a tuturor parametrilor analizați la extensograf E, R_{50} și R_{max} , în timp ce adaosul de SS și FS în făina de grâu a condus la o creștere semnificativă ($p < 0,01$) a acestor parametri. Asupra vâscozității maxime a aluatului analizată la amilograf, SS și FS a avut un efect semnificativ pozitiv ($p < 0,01$), în timp ce SD a prezentat un efect negativ. Pentru toate valorile analizate la reofermentometru, cu excepția valorii coeficientului de retenție, SS și SD au prezentat un efect pozitiv, în timp ce FS, unul negativ.

10. Din punct de vedere al caracteristicilor de calitate ale probelor analizate toate probele de pâine obținute din mixurile optime de SS, SD și FS au prezentat caracteristici fizice superioare. Din punct de vedere senzorial, s-au obținut în general rezultate bune pentru probele optime de pâine. Toate probele optime obținute pot fi încadrate ca probe de pâine cu un conținut foarte scăzut de sodiu, exceptând proba obținută cu mixul optim (9) care este o probă de pâine cu un conținut scăzut de sodiu.

Originalitatea lucrării este dată de studierea în detaliu a proprietăților reologice ale aluatului obținut din făină alba de grâu și diferite ingrediente care pot reduce conținutul de sodiu în produsele de panificație, utilizând aparatură de ultimă generație: farinograf, extensograf, amilograf, reofermentometru, aparatul indice de cădere. În urma studiilor s-a stabilit influența tipului de sare (NaCl, SS, KCl) dar și a altor ingrediente (SD, FS) asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii (caracteristici fizice, texturale, de culoare, senzoriale, conținut de sodiu) necesare obținerii unor produse superioare calitativ. De asemenea utilizând proiectarea statistică a experimentelor (DOE-Design of Experiments) s-au obținut rețete optime pentru obținerea pâinii cu conținut redus de sodiu.

Având în vedere tendința pe plan internațional de a mări consumul de pâine cu conținut redus de sodiu, se va continua studierea posibilității de obținere a acesteia prin utilizarea de alte tipuri de săruri, aluat acid uscat și potențiatori de aromă. De asemenea, se va avea în vedere și utilizarea de săruri de calciu și magneziu în rețeta de obținere a pâinii care pe lângă faptul că ar reduce conținutul de sodiu din produsul finit ar putea să și îmbunătățească valoarea nutritivă a acestuia din punct de vedere al conținutului de substanțe minerale precum calciu și magneziu.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Arena, E.; Muccilli, S.; Mazzaglia, A.; Giannone, V.; Brighina, S.; Rapisarda, P.; Fallico, B.; Allegra, M.; Spina, A. *Development of Durum Wheat Breads Low in Sodium Using a Natural Low-Sodium Sea Salt*. Foods 2020, 9, 752.
- Beck, M.; Jekle, M.; Becker, T. *Impact of sodium chloride on wheat flour dough for yeast-leavened products. II. Baking quality parameters and their relationship*. J. Sci. Food Agric. 2012, 92, 299–306.
- Belz, M.C.E.; Ryan, L.A.M.; Arendt, E.K. *The Impact of Salt Reduction in Bread: A Review*. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2012, 52, 514–524.
- Bernklau, I.; Neußer, C.; Moroni, A.V.; Gysler, C.; Spagnolello, A.; Chung, W.; Becker, T. *Structural, textural and sensory impact of sodium reduction on long fermented pizza*. Food Chem. 2017, 234, 398–407.
- Codină, G.G.; Dabija, A.; Oroian, M. *Prediction of Pasting Properties of Dough from Mixolab Measurements Using Artificial Neuronal Networks*. Foods 2019, 8, 447.
- Codină, G.G.; Voica, D. *The influence of different forms of bakery yeast Saccharomyces cerevisiae type strain on the concentration of individual sugars and their utilization during fermentation*. Rom. Biotech. Lett. 2010, 15, 5417–5422.
- Codină, G.G.; Voinea, A.; Dabija, A. *Strategies for Reducing Sodium Intake in Bakery Products, a Review*. Appl. Sci. 2021, 11, 3093.
- Codină, G.G.; Voinea, A.; Dabija, A. *Strategies for Reducing Sodium Intake in Bakery Products, a Review*. Appl. Sci. 2021, 11, 3093.
- Codină, G.G.; Zaharia, D.; Ropciuc, S.; Dabija, A. *Influence of Magnesium Gluconate Salt Addition on Mixing, Pasting and Fermentation Properties of Dough*. EuroBiotech J. 2017, 3, 222–225.
- Costa, R.G.B.; Sobrala, D.; Aglaê, V.; Teodoro, M.; Costa Junior, L.C.G.; de Paula, J.C.J.; Landin, T.B.; Oliveira, M.B. *Sodium substitutes in Prato cheese: Impact on the physicochemical parameters, rheology aspects and sensory acceptance*. LWT-Food Sci. Technol. 2018, 90, 643–649.
- Hartman-Petrycka, M.; Klimacka-Nawrot, E.; Ziora, K.; Suchecka, W.; Gorczyca, P.; Rojewska, K.; Błońska-Fajfrowska, B. *Sweet, Salty, and Umami Taste Sensitivity and the Hedonic Perception of Taste Sensations in Adolescent Females with Anorexia Nervosa*. Nutrients 2022, 14, 1042.
- He, F.J.; Campbell, N.R.C.; MacGregor, G.A. *Reducing salt intake to prevent hypertension and cardiovascular disease*. Rev. Panam. Salud Publica 2012, 32, 293–300.
- Jekle, M.; Necula, A.; Jekle, M.; Becker, T. *Concentration dependent rate constants of sodium substitute functionalities during wheat dough development*. Food Res. Int. 2019, 116, 346–353.
- Jessen, N.; Damasceno, A.; Padrão, P.; Lunet, N. *Levels of Salt Reduction in Bread, Acceptability and Purchase Intention by Urban Mozambican Consumers*. Foods 2022, 11, 454.
- Lynch, E.J.; Dal Bello, F.; Sheehan, E.M.; Cashman, K.D.; Arendt, E.K. *Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics*. Int. Food Res. J. 2009, 42, 885–891.

- Lynch, E.J.; Dal Bello, F.; Sheehan, E.M.; Cashman, K.D.; Arendt, E.K. *Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics*, Food Research International. 2009, vol. 42, pp. 885-891.
- Miller, R.A.; Jeong, J. *Sodium reduction in bread using low-sodium sea salt*. Cereal Chem. 2014, 91, 41–44.
- Nogueira, A.C.; Kussano, J.T.; Steel, C.J. *Sourdough reduces sodium in wheat flour doughs*. Int. J. Food Sci. Technol. 2015, 50, 2621–2629.
- Noort, M.W.J.; Bult, J.H.F.; Stieger, M.; Hamer, R.J. *Saltiness enhancement in bread by inhomogeneous spatial distribution of sodium chloride*. J. Cereal Sci. 2010, 55, 378–386.
- Noud, A. *Potassium chloride as a salt substitute in bread*, Honors Theses, Western Michigan University, College of Education and Human Development, 2017, 2860.
- Pasqualone, A.; Caponio, F.; Pagani, M.A.; Paradiso, V.M.; Paradiso, V.M. *Effect of salt reduction on quality and acceptability of durum wheat bread*. Food Chem. 2019, 289, 575–581.
- Salvador, A.; Sanz, T.; Fiszman, S.M. *Dynamic rheological characteristics of wheat flour-water doughs. Effect of adding NaCl, sucrose and yeast*. Food Hydrocoll. 2006, 20, 780–786.
- Silow, C.; Axel, C.; Zannini, E.; Arendt, E.K. *Current status of salt reduction in bread and bakery products—A review*. J. Cereal Sci. 2016, 72, 135–145.
- Simsek, S.; Martinez, M.O. *Quality of dough and bread prepared with sea salt or sodium chloride*. J. Food Process Eng. 2016, 39, 44–52.
- Tuhumury, H.C.D.; Small, D.M.; Day, L. *Effects of Hofmeister salt series on gluten network formation: Part, I. Cation series*. Food Chem. 2016, 212, 789–797.
- Uthayakumaran, S.; Batey, I.L.; Day, L.; Wrigley, C.W. *Salt reduction in wheat-based foods-technical challenges and opportunities*. Food Aust. 2011, 63, 137–140.
- Voinea, A.; Stroe, S.-G.; Codină, G.G. *The Effect of Sea Salt, Dry Sourdough and Fermented Sugar as Sodium Chloride Replacers on Rheological Behavior of Wheat Flour Dough*. Foods 2020, 9, 1465.
- Voinea, A.; Stroe, S.-G.; Codină, G.G. *The Effect of Sodium Reduction by Sea Salt and Dry Sourdough Addition on the Wheat Flour Dough Rheological Properties*. Foods 2020, 9, 610.
- Wellner, N.; Bianchini, D.; Mills, E.N.C.; Belton, P.S. *Effect of selected hofmeister anions on the secondary structure and dynamics of wheat prolamins in gluten*. Cereal Chem. 2003, 80, 596–600.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Rezultatele cercetărilor prezentate în teză s-au materializat prin publicarea a **5 articole** științifice în reviste de specialitate indexate Web of Science cu factor de impact, dintre care 2 articole Q1 și 3 articole Q2, a **5 articole** științifice în reviste de specialitate indexate în diferite baze internaționale, **1 cerere de brevet** de invenție depus la OSIM, precum și prin comunicarea a **4 articole** la manifestări științifice cu caracter internațional.

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

1. **Voinea, A.**, Stroe, S.-G., Ropciuc, S., Dabija, A., Codină, G.G., 2022, The Effect of Sea Salt with Low Sodium Content on Dough Rheological Properties and Bread Quality, *Applied Sciences*, 12, 4344, factor de impact 2,838, <https://doi.org/10.3390/app12094344> (Q2)
2. Codină, G.G., **Voinea, A.**, Dabija, A. 2021, Strategies for Reducing Sodium Intake in Bakery Products, a Review, *Applied Sciences*, 11, 3093, factor de impact 2,838, <https://doi.org/10.3390/app11073093> (Q2)
3. **Voinea, A.**, Stroe, S.-G., Codină, G.G., 2020, The Effect of Sea Salt, Dry Sourdough and Fermented Sugar as Sodium Chloride Replacers on Rheological Behavior of Wheat Flour Dough. *Foods* 9, 1465, factor de impact 5,561, <https://doi.org/10.3390/foods9101465>, (Q1)
4. **Voinea, A.**, Stroe, S.-G., Codină, G.G., 2020, Use of Response Surface Methodology to Investigate the Effects of Sodium Chloride Substitution with Potassium Chloride on Dough's Rheological Properties. *Applied Sciences* 10, 4039, factor de impact 2.838, <https://doi.org/10.3390/app10114039> (Q2)
5. **Voinea, A.**; Stroe, S.-G.; Codină, G.G., 2020, The Effect of Sodium Reduction by Sea Salt and Dry Sourdough Addition on the Wheat Flour Dough Rheological Properties. *Foods* 9, 610, factor de impact 5,561. <https://doi.org/10.3390/foods9050610> – (Q1)

B. Articole publicate în reviste indexate în Baze de Date Internaționale (BDI)

1. **Voinea A.**, 2020, Effect of dry sourdough addition in wheat flour on dough rheological properties, Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies, Vol. XXIV, nr. 1, 45-49, <http://biotechnologyjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/current?id=472>
2. **Voinea A.**, Codină G.G, 2021, Effect of dry sourdough addition in wheat flour on dynamic rheological properties and bread quality, Journal of Agroalimentary Sciences and Tehnologies 27 (1), 9-14, <https://www.journal-of-agroalimentary.ro/journal-of-agroalimentary-processes-and-technologies-2021-27-1-8377/effect-of-dry-sourdough-addition-in-wheat-flour-on-dynamic-rheological-properties-and-bread-quality>
3. **Voinea A.**, Stroe S.G, Ropciuc S., Codină G.G. 2021, *Effect of potassium chloride on fough rheology and bread quality*, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Volume 21, Issue 6.1, Pages 67 - 762021 21st International Multidisciplinary Scientific Geoconference: Nano, Bio and Green - Technologies for a Sustainable Future, SGEM 2021Albena16 August 2021through 22 August 2021Code 179782, 10.5593/sgem2021/6.1/s25.15 (SCOPUS)

C. Cereri de brevete de invenție

1. Codină G.G. Dabija A., **Voinea A.**, *Pâine albă cu conținut redus de sodiu și procedeu de obținere a acesteia*, publicat ca rezumat RO135433A2, OSIM și **medaliat cu aur** la International Exhibition INVENTCOR, prima ediție, organizată de Corneliu Group Research-Innovation Association, INVENTCOR Power of the Creative Mind, Deva, 17-19 decembrie

D. Lucrări comunicate la manifestări științifice cu caracter internațional

1. **Voinea A.**, Stroe S.G., Ropciuc S., Codină G.G., 2021, Effect of potassium chloride on dough rheology and bread quality, XXIIth International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM Bulgaria, 16-21 August, Albena, Bulgaria
2. **Voinea A.**, Stroe S.G., Ropciuc S., Codină G.G., 2021, The effect of sea salt with a low sodium content on dough rheology and bread quality, 5 noiembrie 2021 BIOTECHNOLOGIES, PRESENT AND PERSPECTIVES, Suceava, România, <https://fiajournal.usv.ro/conference2021/>
3. **Voinea A.**, 2020, *Effect of dry sourdough addition in wheat flour on dough rheological properties*, Conferința internațională Agriculture for Life, București, București, Romania
4. **Voinea A.**, 2020, *Studies regarding the bread quality characteristics obtained with different levels of sea salt addition*, International conference for students, Student in Bucovina, 18 decembrie, Suceava, România