

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de Inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA TEHNICILOR COMBinate DE USCARE APPLICATE UNOR FRUCTE ȘI LEGUME

Doctorand,

Ing. Liliana ȘEREMET (CECLU)

Conducător științific,

Prof.univ.dr.ing. Elisabeta BOTEZ

Seria I 7: Ingineria produselor alimentare Nr.3

GALAȚI

2015

ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI



UNIVERSITATEA
„DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI
Nr. înregistrare 22748
Data înregistrării 30.06.2015

Către

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de 17.07.2015, ora 11.00, în sala F 103 a Facultății de Știința și Ingineria Alimentelor, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: „CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA TEHNICILOR COMBinate DE USCARE APLICATE UNOR FRUCTE ȘI LEGUME”, elaborată de doamna/domnul ȘEREMET LILIANA (CECLU), în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat Ingineria produselor alimentare.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

1. Președinte Prof.dr.ing. Petru ALEXE
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
2. Conducător de doctorat Prof.dr.ing. Elisabeta BOTEZ
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
3. Referent oficial Conf. dr. biolog Ludmila RUDI
Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al Academiei de Științe a Republicii Moldova
4. Referent oficial Cercet.șt.pr.gr.I dr.ing. Nastasia BELC
Director - Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Bioreurse Alimentare - IBA București
5. Referent oficial Conf.dr.ing. Gabriela IORDĂCHESCU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa următoare: str. Domnească nr. 47, 800008 Galați, Fax: 0236 / 461353, e-mail: rectorat@ugal.ro.

Prof. dr. ing. Iuliana Gabriel BĂRSAN



MULȚUMIRI

Așa cum nimic nu este întâmplător, nici întâlnirea cu oamenii nu este întâmplătoare ... Pe unii îi întâlnim ca să ne calăuzească, alții vin ca o lecție, iar pe unii soarta ni-i scoate în cale ca un dar, ca o binecuvântare ...

La finele acestui drum lung și anevoios pot confirma că elaborarea și fundamentarea științifică a acestei teze de doctorat a fost posibilă numai în urma unei îndrumări științifice de calitate, realizate cu profesionalism și a unor condiții adecvate necesare desfășurării activității de cercetare, care se datorează persoanelor întâlnite neîntâmplător.

Doamnei **Prof.dr.ing. Elisabeta BOTEZ**, în calitate de conducător științific, doresc să îi adresez cele mai calde mulțumiri pentru încrederea acordată, pentru insistențele și răbdarea de care a dat dovadă în decursul celor cinci ani de stagiul doctoral, cât și pentru susținerea și rafinamentul pedagogic cu care mi-a ghidat primii pași în cariera de cadru didactic în mediul academic.

În continuare, doresc să îmi exprim gratitudinea față de membrii comisiei de îndrumare, pentru sfaturile și sugestiile oferite la elaborarea tezei de doctorat: d-na **Prof.dr.chim. Geta Cârâc**, d-na **Conf.dr.ing. Gabriela Iordăchescu** și d-na **Conf.dr.ing. Nastasia Belc**.

Doresc să mulțumesc în mod special doamnei **Conf.cercet.dr.biol. Ludmila Rudi**, pentru ajutorul oferit la realizarea unor obiective ale tezei de doctorat și pentru onoarea de a accepta să fie referent oficial al tezei de doctorat.

Pe această cale aș dori să mulțumesc tuturor celor care au contribuit direct sau indirect la realizarea obiectivelor tezei de doctorat: d-lui **Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN**, d-nei **Prof.dr.ing. Gabriela Elena Bahrim** și d-lui **Conf.dr.ing. Sorin Ciortan** de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, d-lui **Prof.dr.ing. Cătălin Tănase** de la Universitatea "A.I.Cuza" din Iași, d-nei **Conf.cercet.dr.biol. Andronic Larisa**, de la Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al Academiei de Științe a Republicii Moldova, d-nei **Conf.cercet.dr.biol. Liliana Cepoi** de la Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al Academiei de Științe a Republicii Moldova.

O importanță deosebită în realizarea tezei de doctorat a avut și stagiul de mobilitate din cadrul Universității din Gaziantep, Departamentul de Inginerie Alimentară. Doresc să îmi exprim respectul și recunoștința față de dl. **Prof.dr. Fahrettin Göğüş** și de asistenții dumnealui: d-na **Asist.dr. Derya Koçak Yanik** și d-na **Asist.cercet. Hasene Keskin**, pentru suportul material și moral acordat, pentru cunoștințele împărtășite și sfaturile deosebit de utile pe care mi le-au dat.

Recunoștința și mulțumirile mele se îndreaptă și către cei care mi-au devenit prieteni și care prin încurajări, sugestii și critici bine venite, au contribuit la realizarea acestui demers științific, m-au susținut și ajutat la finalizarea lui: **Asist.dr.ing. Oana-Viorela Nistor**, **Asist.dr.ing. Doina-Georgeta Andronoiu** și **Ș.I.dr.ing. Gabriel-Dănuț Mocanu**.

Vreau să mulțumesc familiei mele pentru înțelegerea și sprijinul acordate în realizarea acestui deziderat. Le mulțumesc părinților mei, care întotdeauna au subliniat importanța unei bune educații, pentru susținerea morală și materială pe care mi-au oferit-o din momentul în care am pătruns în lumea științei. În mod deosebit îi mulțumesc fiicei mele **Florentina** și soțului meu **Valentin**, pentru răbdarea și încrederea cu care m-au așteptat în toți acești ani, pentru că au fost alături de mine și au suportat cu stoicism toate manifestările negative din cursul acestui stagiul.

Tuturor celor care m-au sprijinit le ofer cele mai bune gânduri și recunoștință.

17.07.2015, Galați

Drd.ing. Liliana Șeremet (Ceclu)

CUPRINS

INTRODUCERE	I
CAPITOLUL I. STUDIUL PROCESULUI DE USCARE ȘI STABILIREA PRINCIPALILOR PARAMETRI AI PROCESULUI DE USCARE ȘI VARIAȚIA LOR	1
Obiectivele capitolului I	2
I.1. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul tehnologiilor de uscare	3
I.1.1. Noțiuni generale. Definiții.	3
I.1.2. Metode și tehnici uscare	4
I.1.3. Bazele teoretice ale uscării cu microunde	7
I.1.4. Utilizările fructelor și legumelor uscate	9
I.1.4.1. Dovleacul (<i>Cucurbita maxima</i> , <i>Cucurbita pepo</i> , <i>Cucurbita moschata</i>)	9
I.1.4.2. Sfecla roșie (<i>Beta vulgaris var.L.</i>)	10
I.2. Materiale și metode	14
I.2.1. Materiale utilizate	14
I.2.1.1. Materia primă utilizată	14
I.2.1.2. Echipamente	15
I.2.2. Metode de lucru	16
I.2.2.1. Uscarea prin convecție liberă	18
I.2.2.2. Uscarea prin convecție forțată	18
I.2.2.3. Uscarea în vid	19
I.2.2.4. Uscarea combinată	19
I.3. Rezultate și discuții	20
I.3.1. Uscarea prin convecție liberă	20
I.3.2. Uscarea prin convecție forțată	23
I.3.3. Uscare în vid	25
I.3.4. Uscarea prin metoda combinată	27
I.4. Concluzii parțiale capitolul I	30
Bibliografie capitolul I	31
CAPITOLUL II. STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE. ANALIZA STATISTICĂ A PARAMETRILOR DE PROCES ȘI VARIAȚIA LOR	38
Obiectivele capitolului II	39
II.1. Generalități privind cinetica uscării	40
II.2. Materiale și metode	46
II.2.1. Materiale utilizate la obținerea probelor de fructe și legume	46
II.2.1.1. Materia primă	46
II.2.1.2. Echipamente	47
II.2.2. Metode de lucru	48
II.2.2.1. Uscarea prin convecție	48
II.2.2.2. Uscarea combinată	49
II.2.2.3. Determinarea umidității din dovleac și sfecla roșie	49

II.2.2.4. Determinarea curbelor uscării	49
II.2.2.5. Determinarea difuziei umidității	51
II.2.2.6. Determinarea energiei de activare a difuziei	52
II.2.2.7. Modelarea matematică a procesului de uscare și analiza statistică a rezultatelor obținute	53
II.3. Rezultate și discuții	55
II.3.1. Curbele uscării	55
II.3.2. Difuzia umidității și energia de activare	61
II.3.3. Modelarea matematică și analiza statistică	68
II.4. Concluzii parțiale capitolul II	79
Bibliografie capitolul II	80
Capitolul III. MODELAREA CINETICII DE USCARE PRIN UTILIZAREA REȚELELOR NEURONALE ARTIFICIALE	85
Obiectivele capitolului III	86
III.1. Stadiul actual al cunoașterii în domeniul aplicării RNA la simularea datelor procesului de uscare	87
III.1.1. Rețele neuronale artificiale (RNA)	90
III.1.2. Topologia RNA	92
III.1.3. Avantajele și dezavantajele RNA	93
III.1.4. Utilizările RNA	94
III.2. Materiale și metode	95
III.3. Rezultate și discuții	96
III.4. Concluzii parțiale capitolul III	102
Bibliografie capitolul III	103
CAPITOLUL IV. STUDII PRIVIND MODIFICĂRILE ANATOMO- MORFOLOGICE, FIZICO-CHIMICE ȘI NUTRITIVE ALE PRODUSELOR DE ORIGINE AGRO-ALIMENTARĂ USCATE	105
Obiectivele capitolului IV	106
IV.1. Stadiul actual al cunoașterii cu privire la modificările morfologice, fizice și chimice ale unor produse uscate	107
IV.1.1. Generalități privind produsele vegetale conservate prin uscare .	107
IV.1.2. Pricipiile bioactive din dovleac (<i>Cucurbita moschata</i>)	108
IV.1.3. Principiile bioactive din sfecla roșie (<i>Beta vulgaris var.L.</i>)	110
IV.1.4. Antioxidanți și polifenoli	112
IV.1.5. Structura țesutului vegetal și a celulei vegetale	113
IV.1.6. Contractia tisulară și capacitatea de rehidratare	116
IV.2. Materiale și metode	118
IV.2.1. Materiale	118
IV.2.2. Metode	118
IV.2.2.1. Procesul de uscare a probelor de dovleac și sfeclă roșie	118
IV.2.2.2. Analiza structurală SEM	119
IV.2.2.3. Determinarea contractiei tisulare și a capacitatii de rehidratare a probelor uscate de dovleac și sfeclă roșie	120
IV.2.2.4. Măsurători spectrofotometrice UV-VIS a extractelor de dovleac și sfeclă roșie	121
IV.2.2.5. Determinarea capacității antioxidante și conținutului de polifenoli din probele de dovleac și sfeclă roșie	122

IV.2.2.6. Analiza spectrelor obținute prin spectrofotometrie UV-VIS a extractelor din dovleac și sfeclă roșie	122
IV.3. Rezultate și discuții	124
IV.3.1. Analiza anatomo-morfologică a probelor de dovleac și sfeclă roșie	124
IV.3.2. Constrația tisulară și capacitatea de rehidratare	127
IV.3.3. Analiza spectrelor obținute prin spectrofotometrie UV-VIS a extractelor din dovleac și sfeclă roșie	134
IV.3.3.1. Compușii bioactivi din dovleac	134
IV.3.3.2. Compușii bioactivi din sfecla roșie	139
IV.4. Concluzii parțiale la capitolul IV	144
Bibliografie capitolul IV	145
CONCLUZII FINALE	151
CONTRIBUȚII ORIGINALE	153
PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE	154
DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII	155

INTRODUCERE

Fructele și legumele reprezintă elementele fundamentale al alimentației echilibrate. Această grupă de alimente este considerată ca fiind principala sursă de compuși bioactivi și minerale, glucide sub formă de zaharuri simple (glucoză, fructoză, zaharoză), polizaharide, celuloza (sub formă de hemiceluloze), gume și substanțe pectice, în proporții variabile, fibre alimentare, micro și macronutrienți, dar și un conținut ridicat de apă, până la 94%.

Datorită faptului că, produsele agroalimentare au un caracter sezonier apare necesitatea conservării acestora. Uscarea este una dintre tehnicile de conservare ale produselor agroalimentare, care poate fi utilizată ca operație primară de conservare sau ca un proces intermediar.

Fructele uscate sunt unele dintre cele mai sănătoase alternative ale zahărului rafinat, și sunt o modalitate excelentă de a satisface pofta de dulce. Chips-urile din fructe și legume uscate pot reprezenta o gustare rapidă și gustoasă în timpul unei zile pline. Totuși, fructele uscate trebuie consumate cu moderație din cauza conținutului ridicat de zaharuri și de aportului ridicat de kilocalorii.

Fructele și legumele uscate pe lângă faptul că sunt consumate ca atare, reprezintă și o materie primă pentru obținerea unei game largi de produse agroalimentare, medicinale și farmaceutice.

Uscarea reprezintă una dintre metodele cele mai utilizate pentru conservarea alimentelor. Este procedeul de conservare ce se bazează pe principiul biologic al xeroanabiozei care se caracterizează prin eliminarea parțială a umidității produsului, sau până la un nivel care conduce la perturbarea, reducerea sau întreruperea funcțiunilor vitale ale microorganismelor. Conținutul minim de umiditate la care se dezvoltă bacteriile este de 25-30%, iar pentru fungi - 10-15%.

Utilizarea uscării ca metodă de conservare oferă posibilitatea producerii unei game largi de produse noi concomitent cu prelungirea duratei de depozitare a acestora. Produsele agroalimentare uscate prezintă următoarele avantaje: ocupă un volum și o masă redusă comparativ cu materiile prime din care provin. Acest aspect având impact direct asupra reducerii considerabile a spațiului de depozitare și transportare a produselor uscate.

Uscarea este una dintre cele mai complexe procese din industria alimentară, precum și unul dintre subiectele cel mai frecvent studiate în ingineria alimentelor.

Optimizarea acestui proces poate duce la reducerea costurilor de producție și îmbunătățirea calității produselor.

În acord cu principalul obiectiv științific al tezei de doctorat, **Studiu multidisciplinar privind tehnicile de uscare aplicate unor fructe și legume**, studiile experimentale au vizat următoarele obiective specifice:

- Alegerea formei și dimensiunilor produselor supuse uscării;
- Evaluarea parametrilor de proces;
- Studiul tehnicilor de uscare;
- Alegerea metodelor combinate de uscare;
- Studiul cineticii procesului de uscare;
- Modelarea matematică a procesului de uscare și analiză statistică;
- Modelarea cineticii de uscare prin utilizarea rețelelor neuronale artificiale;
- Analiza anatomo-morfologică a produselor vegetale uscate;
- Analiza modificărilor parametrilor fizici ale produselor vegetale uscate;
- Analiza compușilor bionutritivi din produsele vegetale uscate.

Elementele de noutate ale tezei de doctorat constau în contribuțiile originale precum:

- Stabilirea unor relații între parametrii de proces, formele și dimensiunile probelor supuse uscării și a tehnicilor de uscare folosite;
- Stabilirea unei noi metode de uscare combinată;
- Evaluarea comparativă a cineticii procesului de uscare prin metode clasice și metode combinate;
- Utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale (RNA) în predicționarea parametrilor procesului de uscare;
- Caracterizarea spectrofotometrică și microstructurală a probelor de dovleac și sfeclă roșie;
- Determinarea compușilor bionutritivi specifici celor două tipuri de materiale vegetale folosite.

Determinările și analizele derulate în cadrul tezei de doctorat au fost posibile prin sprijinul financiar oferit de către *Programul de burse oferite de statul român cetățenilor Republicii Moldova*, în baza *Acordului privind colaborarea în domeniile științei, învățământului și culturii între Guvernul României și Guvernul Republicii Moldova* și a Școlii Doctorale desfășurat pe perioada 1 octombrie 2010 - 30 septembrie 2013 în cadrul Universității "Dunarea de Jos" Galați.

Mare parte a infrastructurii utilizate pentru realizarea tezei de doctorat aparține *Laboratorului de cercetări Operații unitare și Platformei BIOALIMENT* aflate în cadrul *Facultății SIA-UDJ Galați*. Alte centre sau laboratoare de cercetare care au reprezentat baza infrastructurii în

cercetarea doctorală sunt reprezentate de către: **dotarea Laboratorului de Analiză Instrumentală și Chimie Analitică – LAICA, din cadrul Universității „A.I.Cuza”, Iași**, laboratorului Ficobiotehnologie, la Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al Academiei de Științe a Moldovei, Laboratorul Biotehnologii Vegetale, la Institutul de Genetică și Fiziologie a Plantelor al Academiei de Științe a Moldovei.

De asemenea, o parte din experimente au fost realizate în perioada 13 septembrie 2012 - 26 decembrie 2012 la Universitatea din Gaziantep, Departamentul de Inginerie Alimentară, mobilitate finanțată prin bursa ERASMUS LLP (Lifelong Learning Programme - Programul Învățare pe tot parcursul vieții).

Teza de doctorat intitulată ***Cercetări privind utilizarea tehnicilor combinate de uscare aplicate unor fructe și legume*** cuprinde patru capitole, structurate ca lucrări de cercetare științifică, cuprinzând ca subcapitole *Stadiul actual al cercetării, Materiale și metode, Rezultate și discuții și Concluzii parțiale*.

Teza de doctorat cuprinde un număr de 160 de pagini. Conține un număr de 14 tabele și 84 de figuri.

Studiul documentar și raportarea la literatura de specialitate se bazează pe un număr de 217 referințe bibliografice.

Primul capitol intitulat **Stabilirea principalilor parametri ai procesului de uscare și variația lor** cuprinde informații despre stadiul actual al cercetării referitoare la procesul de uscare.

În cadrul acestui prim capitol s-a urmărit investigarea tehnicilor de uscare prin convecție liberă, convecție forțată, în vid, cu microunde, precum și metode combinate aplicate pentru dovleac și sfeclă roșie, influența și variația parametrilor de proces asupra diferitelor forme și dimensiuni ale probelor supuse uscării. Variația parametrilor de proces temperatură-timp pentru tehnicile de uscare studiate, respectiv reducerea timpului de uscare, au fost analizați în vederea stabilirii metodelor combinate de uscare.

În urma cercetărilor efectuate s-au putut concluziona următoarele: forma și dimensiunile probelor de dovleac și sfeclă roșie (cilindrică, cubică sau paralelipipedică) nu au influențat semnificativ parametrii proceselor de uscare; creșterea temperaturii agentului de uscare de la 50°C la 70°C, conduce la reducerea duratei de uscare cu cca 40%; prin aplicarea convecției forțate, cu viteza constantă a aerului de 1,0 m s⁻¹, durata de uscare se reduce cu cca 18% față de uscarea liberă; la uscarea în vid, la o presiune constantă de 10 kPa, s-a redus durata de uscare cu cca 18% comparativ cu uscarea prin convecție liberă.

Capitolul al II-lea prezintă **Studiul cineticii procesului de uscare. Analiza statistică a parametrilor de proces și variația lor.**

Studiile de cinetică a procesului de uscare presupun măsurarea/determinarea experimentală a variației a umidității și temperaturii materialului supus uscării în timp.

Cinetica transferului de masă are ca obiectiv stabilirea unor relații care să exprime cantitativ viteza procesului în condiții de operare cunoscute. La stabilirea acestor relații este necesară cunoașterea mecanismelor care asigură transportul apei în interiorul unui sistem.

Cinetica proceselor de uscare prin convecție liberă și combinată (convecție liberă, convecție forțată și cu microunde) pentru probele de dovleac și sfeclă roșie a fost studiată prin determinarea unor mărimi caracteristice cum ar fi: raportul de umiditate, viteza de uscare, energia de activare. Datele obținute au permis atât modelarea matematică a proceselor de uscare cu ajutorul ecuațiilor de regresie neliniară multiplă, precum și prelucrarea statistică a modelelor selectate.

Capitolul al III-lea cu titlul **Modelarea cineticii de uscare prin utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale.**

În acest capitol s-a urmărit alegerea parametrilor specifici procesului de uscare (variabile de intrare) și alegerea topologiei Rețelei Neuronale pentru predicționarea unor parametri ai procesului de uscare (variabile de ieșire).

Cu ajutorul rețelelor neuronale artificiale s-a realizat modelarea matematică în paralel a două metode de uscare, convecție și combinat, pe două tipuri de produse vegetale, dovleac și sfeclă roșie, iar în urma prelucrării datelor de intrare și a datelor de ieșire, programul a stabilit erori nesemnificative, ceea ce denotă faptul că datele obținute experimental pot fi utilizate cu succes la simularea procesului de uscare.

Capitolul al IV-lea intitulat **Studii privind modificările anatomo-morfologice, fizico-chimice și nutritive ale produselor de origine agro-alimentară uscate.**

Uscarea fiind o metodă de conservare care presupune contactul dintre produs și aerul cald, prezintă și unele dezavantaje prin modificarea unor proprietăți fizice ale produselor, cum ar fi modificarea culorii, structurii, texturii, formei produsului finit, densitate, porozitate, modificări chimice care afectează aroma și compușii nutritivi, și proprietățile mecanice. Cunoașterea proprietăților mecanice și fizico-chimice ale produselor supuse uscării este necesară la stabilirea metodei de procesare și proiectarea echipamentelor.

În acest context s-a realizat studiul anatomo-morfologic a probelor proaspete și uscate de dovleac și sfeclă roșie cu ajutorul analizei structurale SEM, contracția tisulară și capacitatea de rehidratare a probelor uscate. De

asemenea, în cadrul acestui capitol s-au efectuat și determinări spectrofotometrice pentru identificarea compușilor bioactivi (β -caroten, fenoli, betacianină și betaxantină) și a activității antioxidante din probele de dovleac și sfeclă roșie uscate prin convecție (la temperatura de 50°C, 60°C și 70°C) și prin metoda combinată.

În urma interpretării rezultatelor obținute s-a constatat faptul că prin creșterea gradului de deshidratare a țesutului de dovleac și sfeclă roșie se accentuează deformarea texturii la nivel celular, se intensifică contracția tisulară și scade capacitatea de rehidratare.

Determinarea compușilor bioactivi (β -caroten, fenoli, betacianină și betaxantină) și a activității antioxidante din dovleac și sfeclă roșie coroborată cu celelalte investigații asupra calității produselor uscate a permis identificarea metodei optime de uscare combinată - convecție liberă la 60°C urmată de convecția forțată la 40°C simultan cu microunde la puterea 315W.

CAPITOLUL I

STABILIREA PRINCIPALILOR PARAMETRI AI PROCESULUI DE USCARE ȘI VARIAȚIA LOR

În Capitolul I, conform obiectivelor stabilite: alegerea formelor și dimensiunilor produselor supuse uscării, evaluarea parametrilor de proces și a tehnicilor de uscare aplicate, s-au efectuat cercetări experimentale, ce au pus în evidență:

- influența temperaturii agentului de uscare (a aerului din camera de uscare);
- influența vitezei de circulație a aerului în camera de uscare;
- influența metodei de uscare;
- influența formei și a dimensiunilor probelor supuse uscării.

Pentru realizarea cercetărilor s-au ales ca materiale de studiu dovleacul și sfecla roșie datorită proprietăților bionutritive, a creșterii cantității cultivate anual, dar și a cererii lor pe piață. Probele de dovleac au fost decupate sub formă cilindrică și cubică, iar probele de sfeclă roșie a fost decupate sub formă paralelipipedică și cubică pentru studiul influenței formelor și a dimensiunilor produselor supuse uscării. Ca și metode de uscare s-au folosit:

- uscarea prin convecție liberă la temperatura de 50°C, 60°C și 70°C;
- uscarea prin convecție forțată la temperatura de 50°C, 60°C și 70°C și viteză constantă a aerului de 1,0 m s⁻¹;
- uscarea în vid la temperatura de 50°C, 60°C și 70°C și presiune constantă de 10 kPa;
- metoda combinată între convecție și microunde.

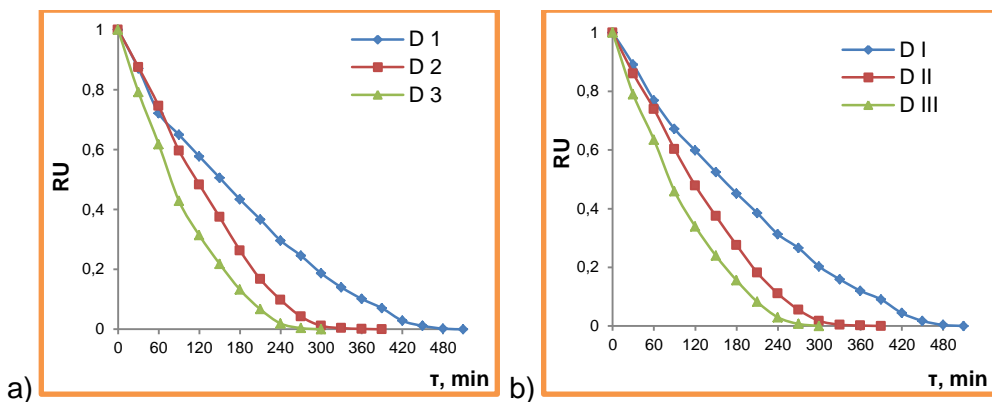


Fig. I.1. Variația conținutului de umiditate a probelor de dovleac, forma cilindrică (a) cubică (b) în funcție de temperatură și timp la uscarea prin convecție liberă.

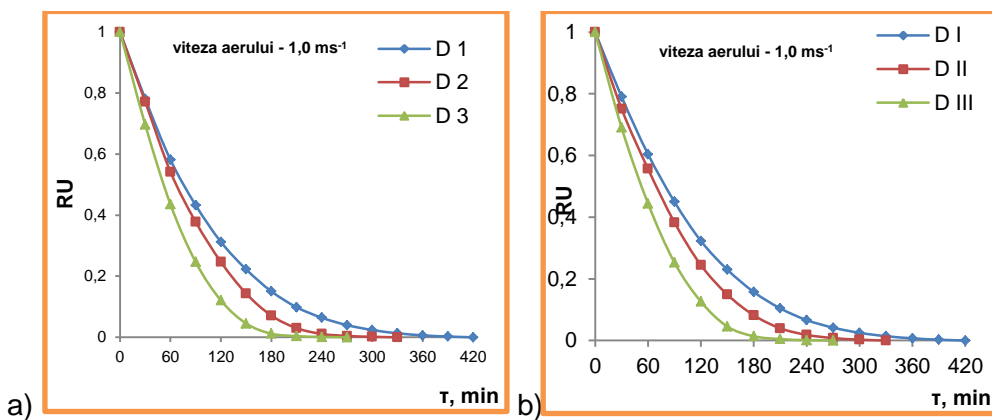


Fig. I.2. Variația conținutului de umiditate a probelor de dovleac, forma cilindrică (a) cubică (b) în funcție de temperatură și timp la uscarea prin convecție forțată.

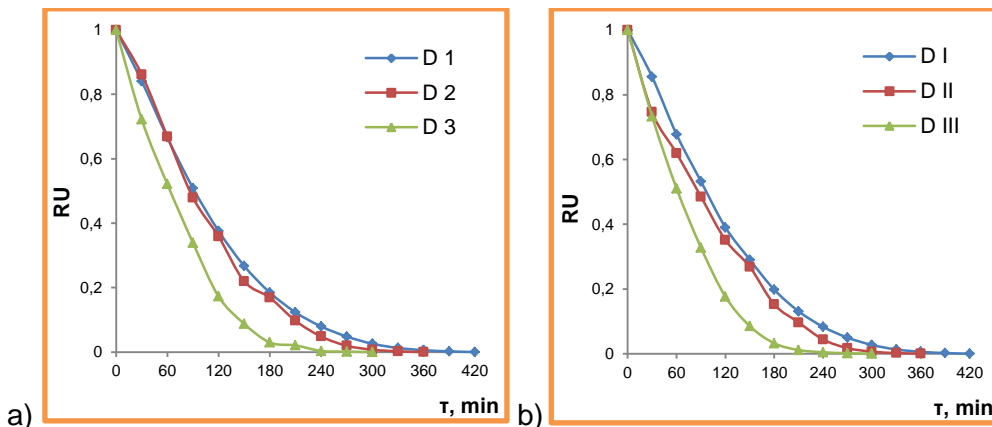


Fig. I.3. Variația conținutului de umiditate a probelor de dovleac, forma cilindrică (a) cubică (b) în funcție de temperatură și timp la uscarea în vid.

În urma determinărilor experimentale efectuate, s-au obținut curbe ale uscării, care indică variația umidității în funcție de timp, de temperatură sau regimul de uscare aplicat.

În figurile I.1. – I.3. este prezentată variația conținutului de umiditate în funcție de timp pentru valori diferite ale temperaturii de uscare a probelor de dovleac în formă cilindrică (a) și în formă cubică (b). După cum se observă din rezultatele obținute, alierea curbelor este similară pentru cele trei metode de uscare: convecție liberă (Fig.I.1.), convecție forțată (Fig.I.2.) și în vid (Fig.I.3.).

De asemeni se poate observa că timpul de uscare nu este influențat de forma probelor (cilindrică și cubică) și scade pentru ambele tipuri odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare. Astfel, durata de uscare la temperatura de 50°C este de 510 minute la uscarea prin convecție liberă și 420 minute pentru uscarea prin convecție forțată și în vid. La temperatura de uscare de 60°C durata de uscare este de 390 minute pentru uscarea liberă, 330 minute pentru uscarea prin convecție forțată și 360 minute pentru uscarea în vid. Durata de uscare la temperatura de 70°C se reduce până la 300 minute la uscarea prin convecție liberă și în vid, 270 minute la uscarea prin convecție forțată.

Prin urmare, odată cu creșterea temperaturii agentului termic, se intensifică procesul de uscare cu cca. 40%. Din graficele obținute se poate observa că alierea curbelor de uscare corespunde celor descrise în literatura de profil pentru dovleac (Doymaz, 2007; Sojak și Głowacki, 2010; Nawirska ș.a., 2009).

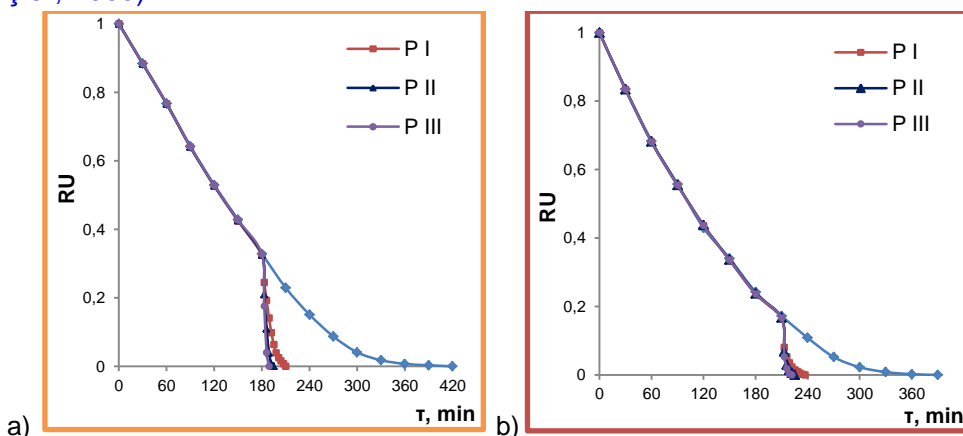


Fig.4. Variația conținutului de umiditate în funcție de puterea magnetronului în timp pentru diferite variante de uscare prin metoda combinată: a) dovleac; b) sfeclă roșie.

Pe baza cunoașterii acestor parametri testați în cadrul experimentelor preliminare, care influențează în mod esențial tehnologia de uscare, s-a putut realiza alegerea metodei de uscare.

În urma combinării metodelor de uscare, convecție liberă cu microunde simultan cu convecție forțată s-a redus semnificativ durata de uscare, așa cum se poate observa în figura I.4. pentru probele de dovleac (a) și pentru probele de sfeclă roșie (b). Durata de uscare a probelor de dovleac și sfeclă roșie s-a redus față de uscarea prin convecție la 60°C, cu 50% respectiv 40% prin metoda combinată pentru proba P I, cu 54% respectiv 42% prin metoda combinată pentru proba P II și cu 55% respectiv 43% prin metoda combinată pentru proba P III.

CONCLUZII PARȚIALE CAPITOLUL I

Uscarea prin diferite metode, convecție liberă, convecție forțată, în vid și prin metoda combinată, influențează similar probele de dovleac și probele de sfeclă roșie.

În urma studiului factorilor care influențează procesului de uscare, cei mai importanți s-au dovedit a fi parametrii de proces, și anume temperatura și timpul care sunt interdependenți.

Pe baza cercetărilor experimentale efectuate se pot concluziona următoarele:

- ✓ creșterea temperaturii agentului de uscare de la 50°C la 70°C, conduce la reducerea duratei de uscare cu cca 40%;
- ✓ prin aplicarea convecției forțate, cu viteza constantă a aerului de 1,0 m s⁻¹, durata de uscare se reduce cu cca 18% față de uscarea liberă;
- ✓ la uscarea în vid, la o presiune constantă de 10 kPa, s-a redus durata de uscare cu cca 18% comparativ cu uscarea prin convecție liberă;

Studiul a demonstrat că suprafețele de transfer termic fiind aproape similare atât în cazul probelor de dovleac (forma cilindrică și cubică), cât și în cazul probelor de sfeclă roșie (forma paralelipipedică și cubică), nu au influențat procesul de uscare.

CAPITOLUL II.

STUDIUL CINETICII PROCESULUI DE USCARE. ANALIZA STATISTICĂ A PARAMETRILOR DE PROCES ȘI VARIAȚIA LOR.

Pentru studiul cineticii procesului de uscare s-au realizat următoarele obiective:

- Studiul variației conținutului de umiditate;
- Studiul variației vitezei de uscare;
- Determinarea energiei de activare a procesului de difuziune;
- Modelarea matematică a procesului de uscare și analiză statistică;

Prin determinările experimentale s-au obținut o serie de curbe ale uscării, care indică variația umidității, a vitezei de uscare, a difuziei umidității și a energiei de activare a difuziei umidității în timp, funcție de temperatura sau regimul de uscare aplicat.

Variația raportului de umiditate în funcție de timpul de uscare a fost utilizată pentru a analiza datele experimentale obținute în urma uscării prin convecție și uscare combinată. Raportul de umiditate (RU) reprezintă cantitatea de umiditate înlăturată în urma uscării, raportată la conținutul inițial de umiditate. Acesta a fost calculat folosind modelul exponențial (II.2) utilizat și de alți autori (Doymaz, 2005; Park, Vohnikova și Brod, 2002).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad \text{II.2.}$$

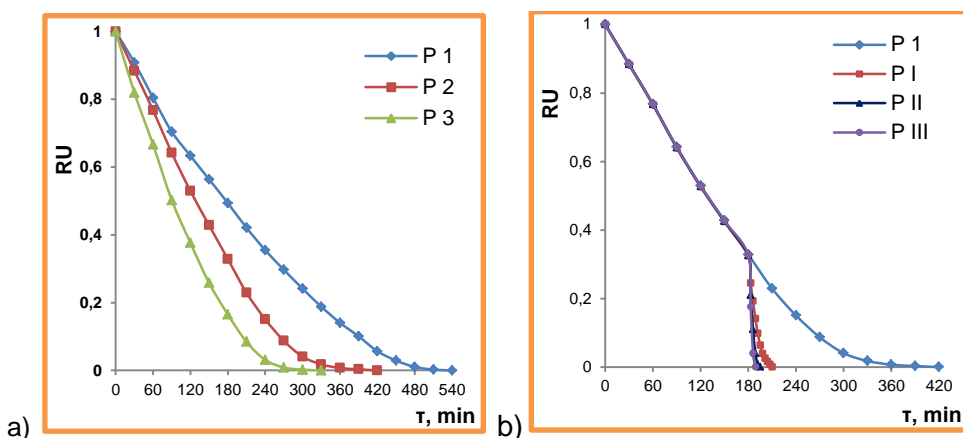


Fig. II.1. Variația conținutului de umiditate a probelor de dovleac în funcție de timp la uscarea prin convecție (a) și uscarea combinată (b).

În Fig.II.1. este prezentată variația conținutului de umiditate în funcție de timp a probelor de dovleac pentru valori diferite ale temperaturii de uscare (a) și prin metoda combinată (b). După cum se observă din figura II.1. durata procesului de uscare se micșorează odată cu creșterea temperaturii în cazul uscării prin convecție liberă (a) și odată cu mărirea puterii magnetronului la uscarea combinată (b). Astfel, pentru probele de dovleac durata de uscare la temperatura de 50°C este de 540 minute, la 60°C durata de uscare este de 420 minute, iar la 70°C aceasta se reduce până la 330 minute.

Prin urmare, odată cu creșterea temperaturii agentului termic, de la 50°C la 70°C, se intensifică procesul de uscare cu cca. 40% în cazul probelor de dovleac. Din graficele obținute se poate observa că alinura curbelor de uscare corespunde celor descrise în literatura de profil pentru

produsele capilar-poroase cum sunt fasolea verde (Doymaz, 2005), bamele (Doymaz, 2005), cojile de portocale (Garau ș.a., 2006) și cartofii (Moradi ș.a., 2013).

Prin intensificarea procesului de uscare prin aplicarea metodei combinate, (convecție liberă + convecție forțată simultan cu microunde) se poate observa reducerea semnificativă a duratei de uscare față de uscarea prin convecție la 60°C, cu 50% prin metoda combinată pentru proba P I, cu 53 % prin metoda combinată pentru proba P II și cu 55% prin metoda combinată pentru proba P III.

Astfel se poate preciza faptul că la aplicarea microundelor în combinație cu convecția forțată, intensitatea procesului de uscare, crește semnificativ.

O mărime importantă în caracterizarea cineticii uscării este viteza de uscare, u , definită ca fiind cantitatea de umiditate îndepărtată din material în unitatea de timp de pe unitatea de suprafață a produsului/probei supus uscării (relația II.3):

$$u = \frac{U_{\tau+d\tau} - U_{\tau}}{d\tau}, \quad (g \text{ apă}/g \text{ m. u.})/\text{min} \quad \text{II.3.}$$

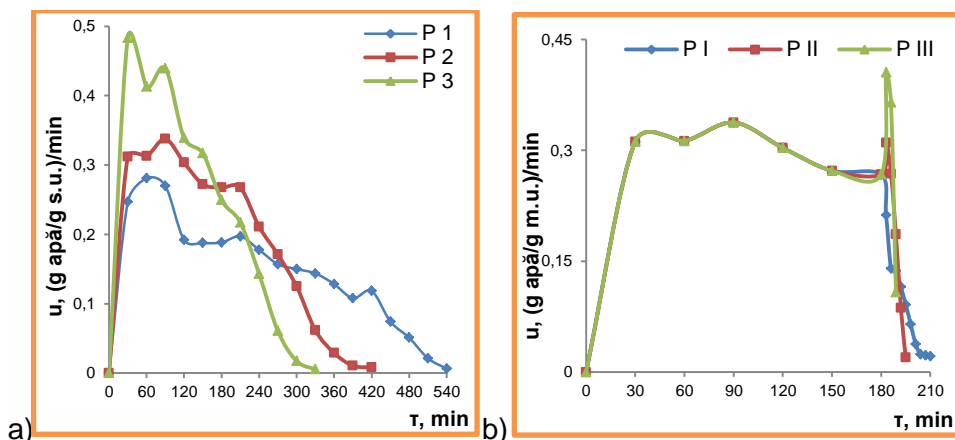


Fig.II.2. Curbele vitezei de uscare: a) convecție liberă; b) combinat.

În urma determinării vitezei de uscare și obținerea graficelor reprezentate în figura II.2., se poate observa că în prima perioadă a procesului de uscare, reducerea conținutului de umiditate decurge mai rapid atât în cazul uscării prin convecție, cât și în cazul uscării combinate. În a doua parte a procesului, viteza de uscare rămâne constantă, fapt care coincide cu scăderea liniară a umidității raportată la substanța uscată.

Pierderea rapidă a conținutului de umiditate în această perioadă se explică prin înlăturarea apei legate mecanic.

Perioada vitezei constante de uscare continuă până când conținutul de umiditate al materialului atinge valoarea critică, de la care temperatura suprafeței lui crește. Segmentul liniar al curbei de uscare se transformă într-o curbă care tinde asimptotic către umiditatea de echilibru a materialului. Temperatura din centrul materialului crește, dar mai încet decât temperatura de la suprafața materialului, astfel încât temperatura din centrul produsului rămâne inferioară temperaturii de la suprafața acestuia. Prin urmare, apare un gradient de temperatură între centrul și suprafața materialului, gradient care se micșorează treptat până când umiditatea materialului devine egală cu umiditatea de echilibru.

Ultima perioadă a procesului de uscare se caracterizează printr-o scădere lentă a conținutului de umiditate, perioada de uscare cu viteză descrescătoare. Punctul care separă cele două domenii de uscare cu fenomenologie diferită (perioada de uscare cu viteză constantă și perioada de uscare cu viteză descrescătoare) devine un punct critic. Eliminarea umidității în această perioadă este limitată de fenomenele de transfer de căldură: transferul de impuls, transferul conductiv de căldură și mișcarea elementelor macroscopice de fluid (Gavrilă, 2000).

Uscarea continuă până când umiditatea materialului atinge valoarea umidității agentului de uscare, umiditatea aceasta fiind și cea de echilibru. În acest moment forța motrice este nulă și procesul de uscare încetează.

Modelarea matematică și analiza statistică

Pachetul de programe statistice ales, DataFit 9.0.32, a permis modelarea matematică a procesului de uscare prin metoda regresiei neliniare și metoda analizei suprafeței de răspuns pentru a investiga influența și variația principalilor parametri de proces.

Programul DataFit a fost folosit pentru a modela matematic datele experimentale cu obținerea suprafețelor de răspuns și pentru a optimiza procesul de uscare. Din cele 79 de modele care au fost generate de programul DataFit, pentru predicția conținutului de umiditate (RU) și a vitezei de uscare (u), s-a selectat ecuația de regresie care a generat o curbă optimă de combinare a datelor într-o ordine succesivă logică și într-un tot unitar.

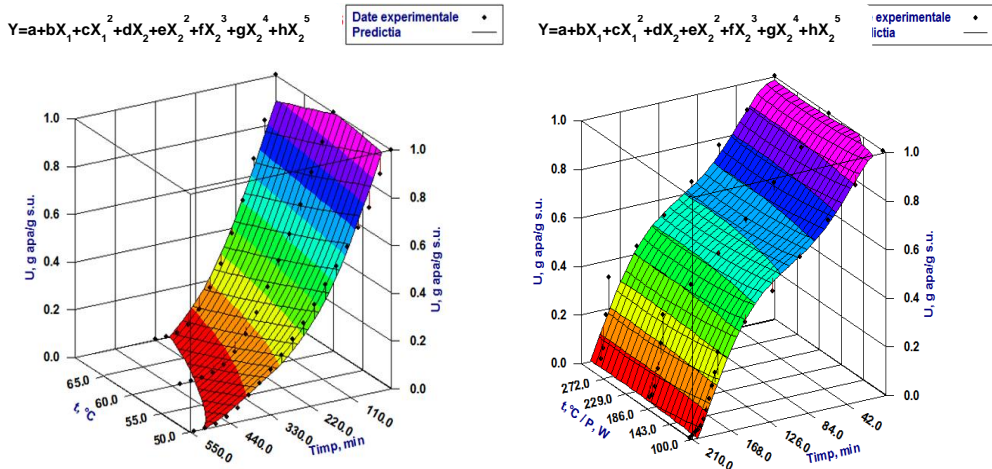


Fig.II.3. Interdependența dintre conținutul de umiditate, timp și temperatură la uscare prin convecție a probelor de dovleac.

Setul de metode statistice în baza cărora s-a verificat modelul de regresie neliniară mutiplă selectat, conține: determinarea coeficientului de determinare multiplă, determinarea erorilor standard estimate și a coeficientului de corelație.

Tabelul II.1. Valorile coeficienților de regresie a modelul matematic selectat pentru uscarea prin convecție și combinat pentru probele de dovleac

Coeficienți de regresie	RU	
	Convecție	Combinat
Coeficientul de determinare multiplă (R^2)	0,9831	0,9773
Coeficientului de determinare multiplă ajustat (Ra^2)	0,9799	0,9722
Eroarea standard estimată	0,0468	0,0566
Coeficientul de corelație	98,31%	97,74%

Din analiza rezultatelor obținute în (Tab.II.1.) se observă o corelație puternică între variabila dependentă și variabilele independente. Coeficientul de corelație exprimat procentual, arată cât din varianța variabilei dependente este explicată de ecuația estimată, variind între 97,74% și 99,39%, indicând o proporție majoră a variabilelor ce se apropie de datele experimentale (Abraham și Ledolter, 2006).

Spre deosebire de predicția conținutului de umiditate, în procesul de uscare, viteza de uscare în general este imposibil de a fi predicționată în baza datelor experimentale, datorită naturii produsului, a comportamentul termic al acestora, dar și a parametrilor de proces implicați (temperaturi/regimuri de uscare).

Din aceste considerente, analiza statistică a datelor s-a realizat în baza diagramelor probabilității normale, instrument de analiză statistică pentru compararea seturilor de date cu distribuția normală.

Din rezultatele obținute, în baza ecuațiilor de regresie selectate (Fig.II.4.), se poate observa că variabila dependentă, care o reprezintă viteza de uscare prezintă un comportament liniar față de variabilele independente (timp, temperatură/regim de uscare combinat).

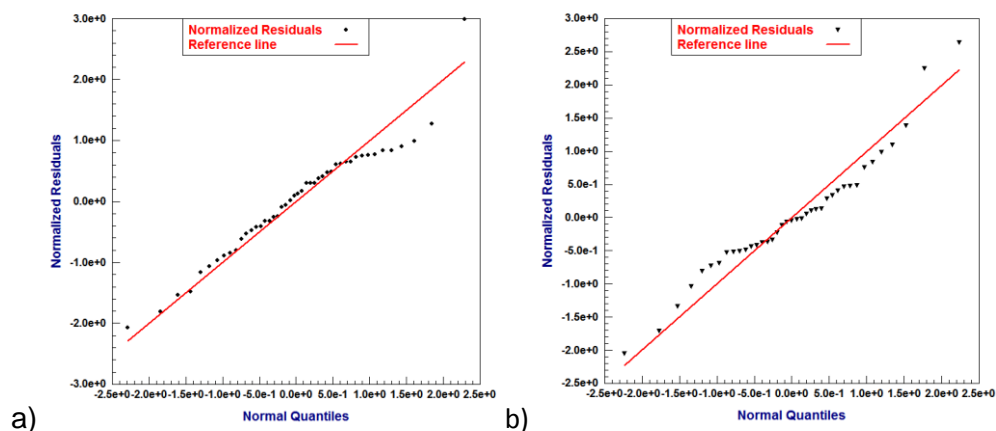


Fig.II.4. Reprezentarea grafică a reziduurilor dintre valorile experimentale ale vitezei de uscare și cele predicționate la uscarea probelor de dovleac prin convecție liberă (a) uscarea combinată (b).

CONCLUZII PARȚIALE CAPITOLUL II

În urma studiului cineticii procesului de uscare prin metoda convectivă liberă și metoda combinată (convecție forțată și microunde) s-au evidențiat avantajele utilizării metodei combinate. Acestea sunt:

1. reducerea duratei procesului de uscare prin mărirea fluxului termic;
2. încălzirea uniformă a materialului supus uscării în tot volumul lui (nu doar încălzirea straturilor periferice);
3. reglarea cu ușurință a fluxului termic, ceea ce conferă posibilitatea utilizării acestei metode în flux continuu

Pe baza cercetărilor experimentale efectuate se pot concluziona următoarele:

- ✓ creșterea temperaturii agentului de uscare de la 50°C la 70°C, conduce la reducerea duratei de uscare cu cca 60%;
- ✓ intensificarea procesului de uscare prin creșterea puterii magnetronului de la 105W la 315W în cazul uscării combinate, reduce durata de uscare cu 50% față de metoda clasică de uscare prin convecție;

- ✓ odată cu creșterea temperaturii agentului de uscare în cazul uscării prin convecție, crește și viteza de uscare;
- ✓ prin intensificarea procesului de uscare cu aplicarea metodei combinate CL 60°C/CF 40°+ MW 105/210/315W, crește implicit viteza de uscare;
- ✓ difuzia este activată de creșterea temperaturii, viteza rapidă de încălzire, procesele de deformare plastică;
- ✓ valoarea coeficientului de difuzie crește odată cu creșterea temperaturii și/sau intensitatea microundelor. De asemenea este influențată și de către temperatura produsului.

Modelarea matematică a cineticii procesului de uscare s-a realizat cu ajutorul metodei regresiiilor neliniare multiple, care a permis predicția procesului.

Prin analiza de regresie și corelație s-au stabilit forma, sensul și intensitatea legăturii dintre o variabilă rezultativă Y (conținutul de umiditate, viteza de uscare) și variabilele factoriale (timp, temperatură/regim combinat de uscare). Modelele au permis aproximarea valorilor experimentale cu cele predicționate, oferite de ecuațiile de regresie.

CAPITOLUL III.

MODELAREA CINETICII DE USCARE PRIN UTILIZAREA REȚELELOR NEURONALE ARTIFICIALE

Pentru modelarea matematică prin utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale s-au stabilit următoarele obiective:

- Alegerea parametrilor specifici procesului de uscare (variabile de intrare)
- Alegerea topologiei Rețelei Neuronale
- Predicționarea unor parametri ai procesului de uscare (variabile de ieșire)

Pentru modelarea cineticii de uscare cu ajutorul RNA s-a utilizat programul Easy NN-plus 2013.

Modelarea datelor s-a realizat cu o RNA tip feedforward (cu propagare înainte), reprezentată dintr-un strat de intrare format din patru neuroni, un singur strat ascuns format din șapte neuroni și un strat de ieșire format din doi neuroni (Fig.III.1.)

Din arhitectura obținută se poate observa că RNA este total conectată, adică, fiecare neuron din fiecare strat primește semnale de la fiecare neuron aflat în stratul precedent.

Neuronii din stratul de intrare sunt reprezentați de:

- × tipul materiei prime (dovleac, sfeclă roșie)
- × parametrii de proces (temperatură și timp).

Neuronii din stratul de ieșire sunt reprezentați de parametrii care se doresc a fi predicționați (umiditatea și viteza de uscare).

Numărul optim de straturi ascunse și de neuroni/strat ascuns este dificil de precizat aprioric. S-a utilizat un singur strat ascuns (rețea din trei straturi), deoarece s-a demonstrat că o astfel de rețea (având un număr suficient de neuroni în stratul intermediar) poate aproxima orice funcție având un număr finit de discontinuități, dacă funcțiile de activare ale neuronilor stratului ascuns sunt de tip sigmoidal.

Datorită faptului că nu există o formulă matematică pentru calcularea numărului optim de neuroni necesari pe stratul ascuns, s-au ales șapte neuroni în stratul ascuns (Lawrence ș.a., 1996).

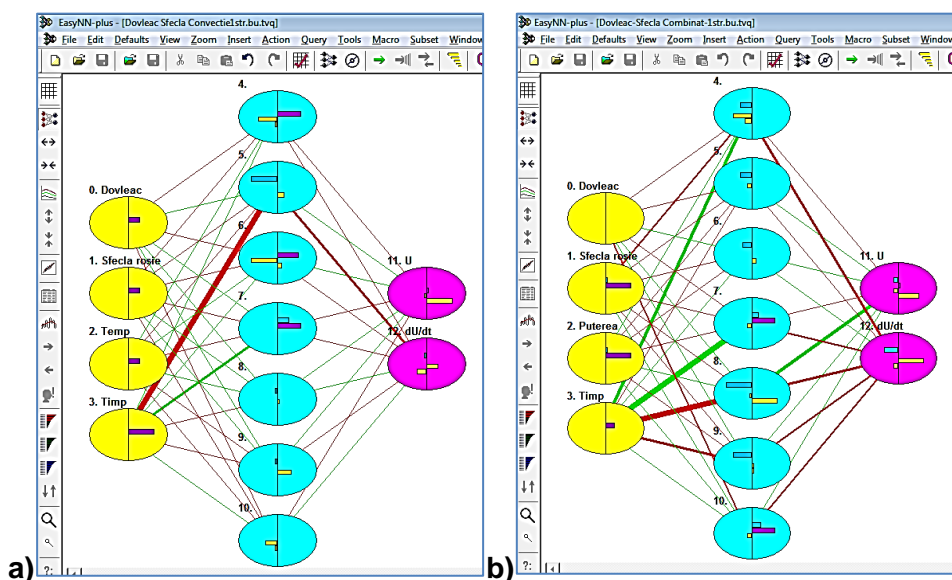


Fig. III.1. Rețea neuronală cu o serie de șapte neuroni:
a) uscarea prin convecție; b) uscarea prin metoda combinată.

Modelarea matematică cu ajutorul rețelelor neuronale artificiale permite și predicția datelor de ieșire. În figura III.2. sunt reprezentate datele predicționate, conținutul de umiditate (cu puncte roșii) și viteza de uscare (cu puncte verzi). Prin antrenarea RNA cu algoritmul de învățare backpropagation, vectorii de intrare reprezentați de timp, temperatura și tipul de produs, au condus la obținerea unor vectori de ieșire doriți, conținutul de umiditate și viteza de uscare.

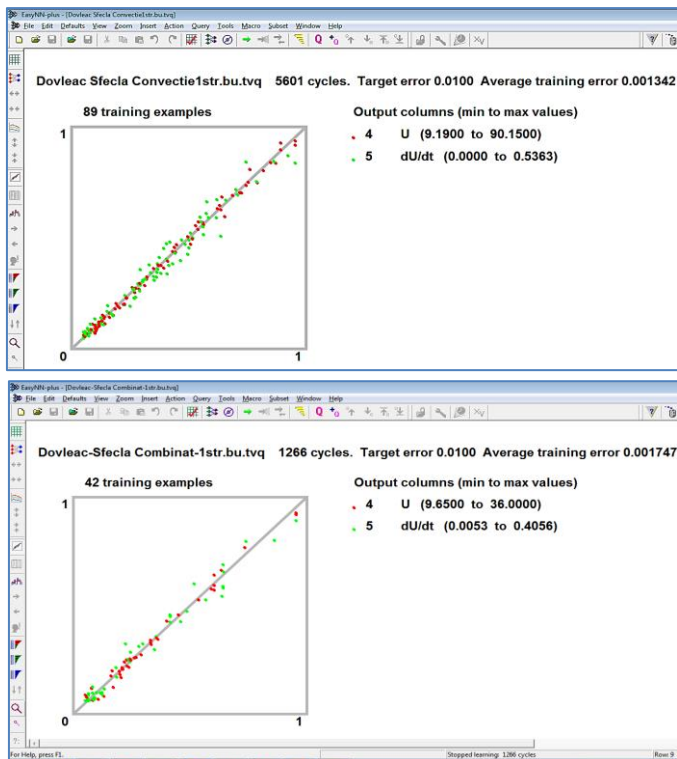


Fig.III.2. Predicția datelor de ieșire (umiditate, viteza de uscare):
a) uscarea prin convecție; b) uscarea prin metoda combinată.

CONCLUZII PARȚIALE CAPITOLUL III

- ◆ Rețelele Neuronale Artificiale sunt utile și chiar indicate în anumite sectoare/domenii, unde modelele clasice eșuează;
- ◆ O RNA bine pregătită poate fi utilizată ca model de predicție cu aplicații specifice, fiind inspirată din rețelele neuronale biologice;
- ◆ RNA poate fi utilizată pentru mai multe variabile de intrare (timp, temperatură/regim de uscare, umiditatea relativă a aerului, produsul) și poate predicționa mai multe variabile de ieșire (conținutul de umiditate al produsului, substanța uscată, viteza de uscare, difuzia);
- ◆ Cu ajutorul rețelelor neuronale artificiale s-a realizat modelarea matematică în paralel a două metode de uscare, convecție și combinat, pe două tipuri de produse vegetale, dovleac și sfeclă roșie;
- ◆ În urma prelucrării datelor de intrare și a datelor de ieșire, programul a stabilit erori nesemnificative de 0,0017, ceea ce denotă faptul că datele obținute experimental pot fi utilizate cu succes la simularea procesului de uscare.

CAPITOLUL IV

STUDII PRIVIND MODIFICĂRILE ANATOMO-MORFOLOGICE, FIZICO- CHIMICE ȘI NUTRITIVE ALE PRODUSELOR DE ORIGINE AGRO-ALIMENTARĂ USCATE

Uscarea fiind o metodă de conservare cu aplicarea unui tratament termic, prezintă și unele dezavantaje prin modificarea unor proprietăți fizice ale produselor, cum ar fi modificarea culorii (Darvishi ș. a., 2014), structurii (Femenia ș.a., 2009), texturii, formei produsului finit, densitate, porozitate (Wakjira, 2010) modificări chimice care afectează aroma și compușii nutritivi (Chua ș.a., 2001) și proprietățile mecanice. Modificările proprietăților mecanice sunt importante, deoarece ele sunt dependente de caracteristicile texturale și senzoriale ale produselor alimentare și, în consecință, de calitatea și acceptarea produsului de către consumator. În plus, cunoașterea proprietăților mecanice, reologice este utilă în proiectarea echipamentelor și stabilirea metodei de procesare.

În acest sens, obiectivele capitolului au vizat următoarele aspecte:

- Analiza anatomo-morfologică a produselor vegetale uscate
- Analiza modificărilor parametrilor fizici ale produselor vegetale uscate
- Analiza compușilor bionutritivi din produsele vegetale uscate

Pentru realizarea obiectivelor propuse s-a realizat:

- ▶ Analiza structurală SEM;
- ▶ Determinarea contracției tisulare și a capacitatății de rehidratare a probelor uscate de dovleac și sfeclă roșie;
- ▶ Măsurători spectrofotometrice UV-VIS a extractelor de dovleac și sfeclă roșie;
- ▶ Determinarea capacității antioxidante și conținutului de polifenoli din probele de dovleac și sfeclă roșie;
- ▶ Analiza spectrelor obținute prin spectrofotometrie UV-VIS a extractelor din dovleac și sfeclă roșie.

Rezultatele analizei structurale sunt prezentate în figura IV.1. Din imaginile obținute la microscopul electronic, se poate sublinia faptul că, creșterea gradului de deshidratare a țesutului este acompaniată de accentuarea deformărilor texturii la nivel celular.

- se atestă colapsul celulelor ca rezultat al pierderii turgorului;
- deshidratarea induce modificări ale arhitecturii tisulare exprimate prin deformarea texturii, fragmentarea pereților celulari, gradul de expresare se accentuează pe măsura creșterii temperaturii aplicate;
- temperaturile aplicate, în deosebi 70 și 80⁰C au generat compresiunea accentuată a celulelor.

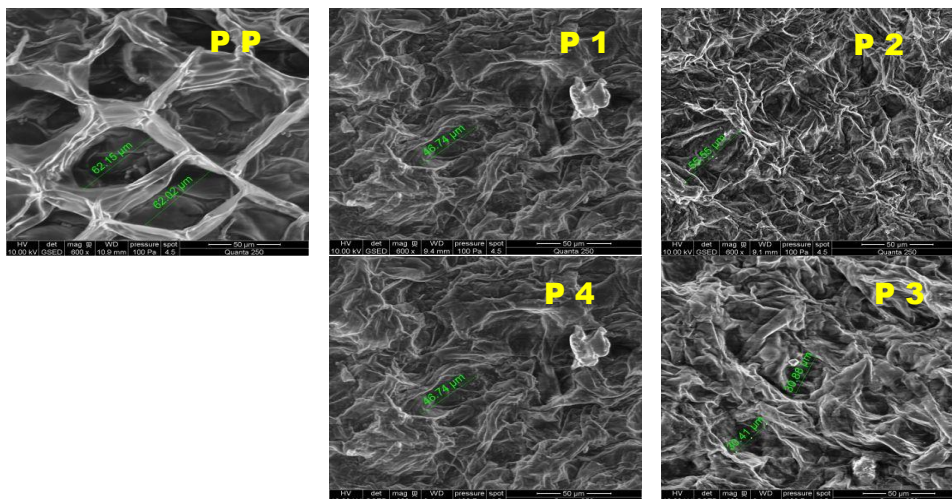


Fig.IV.1. Imagini SEM ale probelor de dovleac uscate prin convecție (microscopul electronic cu baleiaj, Model Quanta 250 cu detector WetSTEM)

Îndepărtarea apei din structura celulară a produselor vegetale, induce modificări fizico-chimice semnificative, prin care se apreciază atât calitatea produselor uscate, cât și eficacitatea procesului de uscare. Aceste caracteristici sunt reprezentate de contracția tisulară, care se caracterizează prin micșorarea volumului datorat eliminării apei din produs, capacitatea de rehidratare care reprezintă absorbția unei cantități de apă echivalentă cu cantitatea de apă eliminată la uscare, și revenirea la forma inițială prin absorbția apei.

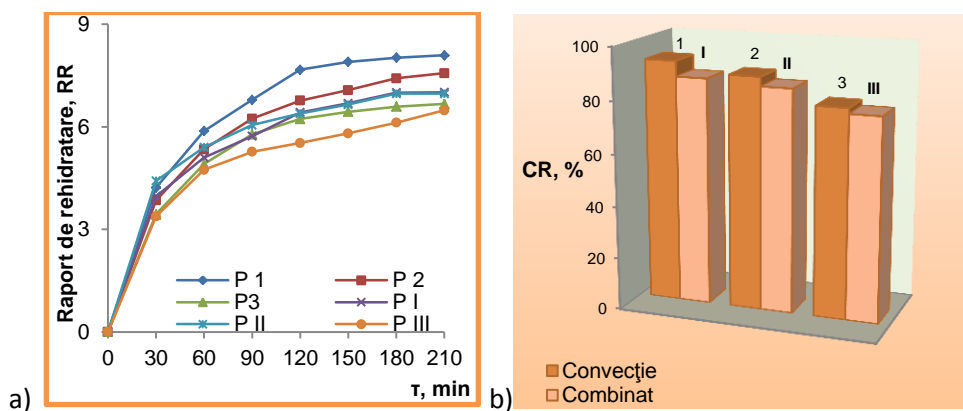


Fig.IV.2. Rata de rehidratare a probelor de dovleac uscate (a) și capacitatea de rehidratare a probelor de dovleac uscate (b).

Influența temperaturilor și a regimului combinat de uscare asupra caracteristicilor de rehidratare și a capacității de rehidratare ale probelor de dovleac sunt prezentate în figura IV.2.

Din graficele obținute, se poate observa că raportul de rehidratare crește odată cu scăderea temperaturii, la uscarea prin convecție și odată cu reducerea puterii microundelor, la uscarea combinată, după cum urmează:

- pentru probele de dovleac
 - ▶ uscare prin convecție – $79,81 \pm 0,3\%$ la 70°C , $88,97 \pm 0,3\%$ la 60°C , $92,92 \pm 0,3\%$ la 50°C ,
 - ▶ metoda combinată – $77,68\%$ la 315W , $85,44\%$ la 210W , $87,05\%$ la 105W .

Curbele de rehidratare au aratat că inițial, rata de absorbție a apei este maximă, după care urmează o etapă cu o rată de absorbție mai lentă până în punctul de saturație, care marchează finalul procesului de rehidratare. Rata mare de absorbție a apei, de la începutul procesului de rehidratare, se poate explica prin rehidratare rapidă a capilarelor și a cavităților ce se află la suprafață și în imediata vecinătate, care absorb rapid apa (Markowski ș.a., 2009).

Valorile mai mici ale capacității rehidratare ($77,68 - 79,81\%$) demonstrează impactul temperaturilor ridicate (70°C) și puterea microundelor (315W), asupra probelor uscate, și anume ruperea membranelor celulare, care în final duc la destrămarea structurii celulare. Un comportament similar este raportat în câteva studii privind uscarea merelor și ciupercilor cu microunde asistată de uscarea convectivă (Singh și Pandey, 2011).

CONCLUZII PARȚIALE LA CAPITOLUL IV

Uscarea prin convecție este cea mai răspândită metodă de uscare a produselor vegetale. Cu toate acestea, implică foarte multe dezavantaje care sunt specificate în literatura de specialitate și care au putut fi observate în studiile efectuate în timpul cercetărilor din care putem concluziona că, odată cu creșterea temperaturii au loc o serie de modificări:

- ❑ Structurale – prin denaturarea țesuturilor vegetale prin ruperea pereților celulari care provoacă o contracție tisulară sporită și reduce capacitatea de rehidratare a produselor uscate;
- ❑ Chimice – prin reducerea conținutului de compuși bionutritivi.

Aceste efecte negative ale temperaturii se reduc cu scăderea temperaturilor de uscare, dar crește considerabil durata de procesare și costurile în urma consumului de energie.

În vederea reducerii acestor dezavantaje ale uscării convective s-a încercat obținerea unei metode combinate prin care să se reducă durata de uscare și să se păstreze conținutul de compuși nutritivi.

Din cercetările efectuate se observă, că uscarea prin metoda combinată: convecție liberă urmată de convecția forțată combinată cu microunde prezintă cele mai bune rezultate, prin:

- ❖ Reducerea timpului de uscare (de la 540 – 510 min la 189 - 210 min);
- ❖ Creșterea conținutului de β -caroten;
- ❖ Creșterea conținutului de betalaine;
- ❖ Creșterea conținutului de polifenoli;
- ❖ Creșterea capacității antioxidante;
- ❖ Se reduce contracția tisulară.

Dar prezintă și un dezavantaj, care se caracterizează prin reducerea capacității de rehidratare. Din rezultatele obținute, se poate constata că, odată cu creșterea temperaturii de uscare (de la 50°C la 70°C), în regimul de uscare convectiv, scade raportul de rehidratare, dar și capacitatea de absorbție a apei. Același lucru se poate observa și în cazul probelor de dovleac și sfeclă roșie uscate prin metoda combinată. Cu cât s-a mărit puterea microundelor (de la 105W la 315W) cu atât s-a redus raportul de rehidratare și capacitatea de absorbție a apei. Acest lucru se datorează efectului termic asupra celulei și al țesutului vegetal. Astfel că, la temperaturi mai joase de uscare și în regimuri ridicate îmbunătățește rehidratare datorită efectul temperaturii asupra peretelui și țesutului celular.

Analizând rezultatele obținute se poate observa că, cea mai eficientă metodă de uscare este reprezentată de **metoda combinată**:

I etapă - convecție liberă la 60°C, urmată de:

II etapă - convecție forțată la 40°C combinată cu microunde la puterea de 315 W.

CONCLUZII GENERALE

Studiile realizate în acord cu obiectivele științifice ale tezei de doctorat au vizat analiza modalităților de aplicare a tehnicilor combinate de uscare pentru dovleac și sfeclă roșie, cu scopul reducerii procesului de uscare și a protejării compușilor bioactivi.

Cercetările realizate au condus la formularea unor concluzii generale, cu impact în cercetarea fundamentală și aplicativă, după cum urmează:

- Studiile preliminare din cadrul capitolului I (desfășurate la Universitatea Dunărea de Jos Galați și Universitatea din Gaziantep, Turcia) au investigat tehnicile de uscare prin convecție liberă, convecție forțată, în vid, cu microunde, precum și metode combinate aplicate pentru dovleac și sfeclă roșie;
- Forma și dimensiunile probelor de dovleac și sfeclă roșie (cilindrică, cubică sau paralelipipedică) nu au influențat semnificativ parametrii proceselor de uscare;

- Variația parametrilor de proces temperatură-timp pentru tehnicile de uscare studiate, respectiv reducerea timpului de uscare, au fost analizați în vederea stabilirii metodelor combinate de uscare;
- Cinetica proceselor de uscare prin convecție liberă și combinată (convecție liberă, convecție forțată și cu microunde) pentru probele de dovleac și sfeclă roșie a fost studiată prin determinarea unor mărimi caracteristice cum ar fi: raportul de umiditate, viteza de uscare, energia de activare. Datele obținute au permis atât modelarea matematică a proceselor de uscare cu ajutorul ecuațiilor de regresie neliniară multiplă, precum și prelucrarea statistică a modelelor selectate;
- Aplicarea metodei combinate de uscare convecție liberă la 60°C, convective forțată la 40°C+microunde cu puterea de 315W determină o reducere a duratei de uscare cu 55% față de uscarea prin convecție la 60°C;
- Pentru studiul avansat al proceselor de uscare s-a aplicat metoda rețelelor neuronale artificiale, utilizând mai multe variabile de intrare (timp, temperatură, umiditatea relativă a aerului, tip de produs, tip de proces) pentru a putea predicționa variabile de ieșire (conținut de umiditate pentru produs, viteza de uscare);
- S-a realizat studiul anatomo-morfologic a probelor de dovleac și sfeclă roșie cu ajutorul analizei structural SEM, iar interpretarea imaginilor a fost efectuată la Institutul de Genetică și Fiziologie a Plantelor al Academiei de Științe a Moldovei. S-a constatat faptul că prin creșterea gradului de deshidratare a țesutului de dovleac și sfeclă roșie se accentuează deformarea texturii la nivel celular;
- Contractția tisulară și capacitatea de rehidratare au fost reprezentate grafic pentru toate variantele de uscare pentru a studia influența temperaturii și a metodei de uscare;
- Determinarea compușilor bioactivi (β -caroten, fenoli, betacianină și betaxantină) și a activității antioxidante din dovleac și sfeclă roșie coroborată cu celelalte investigații asupra calității produselor uscate a permis identificarea metodei optime de uscare combinată- convecție liberă la 60°C, convecție forțată la 40°C, microunde la puterea 315W.

CONTRIBUȚII ORIGINALE

- Stabilirea unor relații între parametrii de proces, formele și dimensiunile probelor supuse uscării și a tehnicilor de uscare folosite;
- Stabilirea unei noi metode de uscare combinată;
- Evaluarea comparativă a cineticii procesului de uscare prin metode clasice și metode combinate;

- Utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale (RNA) în predicționarea parametrilor procesului de uscare;
- Caracterizarea spectrofotometrică și microstructuralăa probelor de dovleac și sfeclă roșie;
- Determinarea compușilor bionutritivi specifici celor două tipuri de materiale vegetale folosite.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. [Adebayo, O.R., Farombi A.G., Oyekanmi A.M. \(2013\)](#). Proximate, Mineral and Anti-Nutrient Evaluation of Pumpkin Pulp (*Cucurbita Pepo*). *IOSR Journal of Applied Chemistry* 2278-5736, 4(5): 25-28.
2. [Ahmed, J., Ramaswamy, H.S., Kasapis, S., Boye, J.I. \(2010\)](#). Novel Food Processing: Effects on Rheological and Functional Properties. CRC Press, Taylor & Francis Group;
3. [Alibas, I. \(2007\)](#). Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology* 40 (8): 1445–1451;
4. [Arévalo-Pinedo, A., Murr, F.E. \(2006\)](#). Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering* 76: 562–567;
5. [Arévalo-Pinedo, A., Fernanda E. X. Murr, F.E.X., Arévalo, Z.D.S. Giraldo-Zuñiga, A.D. \(2010\)](#). Modeling with shrinkage during the vacuum drying of carrot (*Daucus Carota*). *Journal of Food Processing and Preservation* 34: 611–621;
6. [Arima, H.K., Rodriguez-Amaya, D.B. \(1990\)](#). Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from Northeastern Brazil. *Archivos Latinoamericanos Nutrition*, 40:284-292.
7. [Azevedo-Meleiro CH, Rodriguez-Amaya DB \(2002\)](#). Determination of the carotenoids of *Cucurbitaceae* fruit vegetables by HPLC-DAD and HPLC-MS. Paper presented at the IV Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages, Campinas, Brazil;
8. [Beaudry,C., Raghavan, G.S.V., Ratti, C., Rennie, T.J. \(2004\)](#). Effect of Four Drying Methods on the Quality of Osmotically Dehydrated Cranberries. *Drying Technology: An International Journal* 22/3: 521-539;
9. [Blessing, A.C., Ifeanyi, U.M., Chijioke, O.B. \(2011\)](#). Nutritional Evaluation of Some Nigerian Pumpkins (*Cucurbita* spp). *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, Global Science Books;
10. [Chiewchan, N., Praphraiphetch, C., Devahastin, S. \(2010\)](#). Effect of pretreatment on surface topographical features of vegetables during drying. *Journal of Food Engineering* 101: 41–48;
11. [Chua K.J., Mujumdar A.S., Hawlader, M.N.A, Chou, S.K., Ho, J.C. \(2001\)](#). Convective drying of agricultural products. Effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Drying Technology* 19: 1949–1960;
12. [Contreras C., Martin-Esparza M.E., Chiralt A., Martinez Navarrete N. \(2008\)](#). Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering* 88: 55-64;
13. [Dadali G., Apar D.K., Özbek B. \(2007\)](#). Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology: An International Journal* 25(5): 917-924.
14. [Darvishi, H., Khoshtaghaza, H.M., Minaei, S. \(2014\)](#). Drying kinetics and colour change of lemon slices. *International Agrophysics* 28: 1-6;
15. [Delgado-Vargas, R., Jimenez, A.R., & Paredes - Lopez, O. \(2000\)](#). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains—Characteristics,

- biosynthesis, proces-sing and stability. *Reviews in Food Science and Nutrition*, 40: 173–289.
16. Dhiman A. K., Sharma, K. D., Attri, S. (2009). Functional constituents and processing of pumpkin: A review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 46: 411-417;
 17. Duthie, G.G., Duthie, S.J., & Kyle, J.A.M. (2000). Plant polyphenols in cancer and heart disease: Implications as nutritional antioxidants. *Nutrition Research Reviews*, 13: 79–106.
 18. Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering* 79: 243–248;
 19. Femenia A., Sastre-Serrano G., Simal S., Garau M.C., Eim V.S., Rossello C. (2009). Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *LWT – Food Science and Technology* 42: 106-112;
 20. Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering* 98: 461–470;
 21. Gajewski, M., Radzanowska, J., Danilcenko, H., Jariene, E, Cerniauskiene, J. (2008). Quality of Pumpkin Cultivars in Relation to Sensory Characteristics. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, Cluj* 36 (1): 73-79;
 22. Gavrilă, L. (2000). Fenomene de transfer.Vol.II. Transfer de căldură și de masă. Editura Alma Mater;
 23. Göğüş, F., Maskan, M. (2006). Air drying characteristics of solid waste (pomace) of olive oil processing. *Journal of Food Engineering* 72: 378–382;
 24. Guiné, R.P.F., Pinho, S., Barroca, M. J. (2010). Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food and bioproducts processing*, Articol publicat on-line;
 25. Harish, A., Rashmi, M., Krishna Murthy, T. P., Blessy, B. M. and Ananda, S. (2014). Mathematical modeling of thin layer microwave drying kinetics of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*). *International Food*;
 26. Meisami-asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., Tabatabaeefar, A. (2010). Drying of apple slices (var. Golab) and effect on moisture diffusivity and activation energy. *Plant Omics Journal* 3(3): 97-102;
 27. Moradi, M., Maleki, A., Ghazavi, M.A. (2013). Mathematical Modeling, Moisture Diffusion and Energy efficiency of Thin Layer Drying of Potato. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences Vol.*, 5 (15), 1663-1669;
 28. Mujumdar, A.S. (2006). *Handbook of Industrial Drying*. Third edition. CRC Press, Taylor & Francis Group;
 29. Omid, M., Baharlooei, A., and Ahmadi, H. (2009). Modeling Drying Kinetics of Pistachio Nuts with Multilayer Feed-Forward Neural Network. *Drying Technology*, 27: 1069–1077;
 30. Sablani, S.S. (2006). *Artificial neural networks*. Handbook of food and bioprocess modelling techniques. New York: Taylor and Francis: 375–403;
 31. Sifaoui, A., Abdelkrim, A., Benrejeb, M. (2008). *On the use of Neural Network as a Universal Approximator*. *International Journal of Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering*, Volume 2/1: 386-399;
 32. Sahin, A.Z., Dincer, I. (2005). *Prediction of Drying Times for Irregular Shaped Multi-Dimensional Moist Solids*. *Journal of Food Engineering* 71/1: 119–126;

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Diseminarea rezultatelor s-a realizat prin **2 articole**: un articol ISI publicat on-line și un articol BDI (în curs de publicare), **4 conferințe naționale și internaționale**.

Articol ISI

Liliana Seremet (Ceclu), Elisabeta Botez, Oana-Viorela Nistor, Doina Georgeta Andronoiu, Gabriel-Danut Mocanu, 2015. *Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices*. Food Chemistry, ISSN: 0308-8146, **IF: 3.391**.

Articol BDI

Liliana Seremet (Ceclu), Elisabeta Botez, Oana-Viorela Nistor, Fahrettin Göğüş, Doina Georgeta Andronoiu, Gabriel-Dănuț Mocanu. *Influence of drying conditions on the effective diffusivity and activation energy during convective air and vacuum drying of pumpkin*. The Annals of the University Dunărea de Jos of Galați Fascicle VI – FOOD TECHNOLOGY, ISSN 1843–5157/ e-ISSN 2068–259X.

Participare la conferințe

1. Liliana Seremet (Ceclu) Elisabeta Botez. *The kinetics of the hot air drying of pumpkin*, Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din UDJ Galați CSSD-UDJG, Ediția I Galați, 16-17 mai 2013.
2. Liliana Seremet (Ceclu), Elisabeta Botez, Oana-Viorela Borcan (Nistor). *The influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity and energy of activation during the hot air drying of red beetroot*. The Second North and East European Congress on Food, NEEFood – 2013, 26 – 29 May 2013, Kyiv, Ukraine.
3. Liliana Seremet (Ceclu), Elisabeta Botez, Oana-Viorela Borcan (Nistor), Doina Georgeta Andronoiu, Gabriel – Dănuț Mocanu. *Influence of different drying methods on the physicochemical properties of pumpkin*. The 8th International Conference on WATER IN FOOD, EFW 2014, May 25-27, 2014. Timisoara, Romania.
4. Liliana Ceclu, Simcova Carolina. *Mathematical modeling using Artificial Neural Networks*. International Scientific Conference on “Prospects and problems of research and education integration into the European area”. June 5, 2015, Cahul State University (CSU) “Bogdan Petriceicu Hasdeu”, Cahul, Republic of Moldova.

Premii

Premiul I - „THE BEST POSTER”, la secțiunea postere, acordat în cadrul Conferinței Internaționale The 8th International Conference on Water in Food, 25 - 27 mai, Timișoara România.