



Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **- REZUMAT -**

**Senzori optici și metode avansate utilizate în aplicații pentru  
analiza băuturilor și a aditivilor alimentari**

**Student-doctorand:**  
**Potărniche Ioana-Adriana**

**Conducător științific:**  
**Prof. Dr. Ing. Ramona Gălățuș**

**Comisia de evaluare a tezei de doctorat:**

Președinte: Prof. Dr. Ing. **Sorin Hintea** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. **Ramona Gălățuș** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;

Referenți:

- Prof. Dr. Ing. **Paul Șchiopu** - Universitatea Politehnică din București;

- Prof. Dr. Ing. **Simona Miclăuș** - Academia Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” din Sibiu;

- Prof. Dr. Ing. **Mircea Vaida** - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

**- Cluj-Napoca -  
2023**

## Cuprinsul rezumatului

1. Motivarea alegerii temei.....	3
2. Obiectivele tezei.....	4
3. Metodologie.....	5
4. Structura tezei.....	6
5. Concluzii.....	20
6. Contribuții personale.....	21
7. Bibliografie.....	22
8. Listă de publicații.....	28

# 1. Motivarea alegerii temei

Pe parcursul anilor, obiceiurile oamenilor legate de modul de procurare, preparare și păstrare a hranei s-au schimbat [1]. Oamenii din antichitate își procurau singuri hrana. Bărbații obișnuiau să vâneze, iar femeile pregăteau hrana pentru întreaga familie. Obiceiurile au început încet să se schimbe, animalele au fost domesticite, iar multe fructe și legume au fost cultivate în jurul locuințelor de către om [1]. Secole la rând, oamenii au crescut animale și legume pentru propriul consum, pentru a le vinde sau pentru a folosi ca troc.

Modul de obținere a alimentelor a început să se schimbe începând cu secolul al XX-lea. Dezvoltarea tehnologică a permis utilizarea unor mașinării pentru agricultură, iar ulterior a ajutat la apariția primelor fabrici ce preparau produse alimentare ce urmau a fi puse la vânzare. Încetul cu încetul, tot mai multe produse au fost produse în fabrici. Acestea erau ambalate și trimise spre puncte de vânzare unde oameni puteau să le achiziționeze în funcție de preferințe, nevoi și preț.

Ușurarea modului de procurare a hranei a adus și dezavantaje în viața oamenilor. În primul rând, aceștia nu mai sunt direct implicați în procesul de obținere a produselor pe care le consumă și în consecință nu au control în alegerea ingredientelor ce vor fi adăugate în acestea. Ingredientele pot fi de o calitate mai redusă pentru a minimiza prețul produsului sau se pot utiliza înlocuitori chimici pentru a substitui un anumit ingredient (vanilina naturală poate fi înlocuită cu vanilina ce este sintetizată chimic [2], se pot folosi îndulcitori artificiali în locul zahărului datorită puterii mult mai mare de îndulcire a acestora [3]). Totodată, pe lângă ingredientele necesare preparării produsului, se mai pot utiliza și anumite substanțe numite aditivi alimentari. Aditivii alimentari ajută la păstrarea calității unui produs pe o perioadă mai îndelungată (conservanți), oferă un gust dulceag (îndulcitori), controlează aciditatea, oferă o anumită textură produsului (agenți de afânare) sau pot induce o anumite culoare preparatului (coloranți). Există mult mai multe categorii de aditivi, cu diverse roluri [4], [5], aditivi cărora li s-a asociat un număr E.

Într-un singur produs pot exista unul sau mai mulți aditivi alimentari. Pentru fiecare aditiv s-a stabilit o limită de consum numită „aport zilnic acceptabil” (engl. ADI – acceptable daily intake). Un consum zilnic al acestor aditivi sub limitele reglementate nu ar trebui să afecteze sănătatea consumatorilor. În Tabel 1 sunt prezentate limitele de consum, masa moleculă, formula chimică și număr E pentru opt aditivi alimentari ce fac parte din patru categorii distincte.

Tabel 1.1 Aditivi alimentari (adaptat din [6])

Aditiv alimentar	Formulă Moleculară	Număr E	Masă moleculară [g · mol <sup>-1</sup> ]	Tip aditiv	Aport zilnic acceptabil [mg/kg bw] [7]
Sorbat de potasiu	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> KO <sub>2</sub>	E202	150.218	Conservant	0-25
Benzoat de sodiu	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NaO <sub>2</sub>	E211	144.105	Conservant	0-5
Acid ascorbic	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	E300	176.12	Antioxidant	Nespecificat
Aspartam	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	E951	294.307	Îndulcitor	0-40
Zaharină	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3</sub> S	E954	183.18	Îndulcitor	0-5
Acesulfam potassium	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> KNO <sub>4</sub> S	E950	201.242	Îndulcitor	0-15
Acid citric	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	E330	210.14	Regulator de aciditate	Nelimitat
Citrat trisodic	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	E331	294.10	Regulator de aciditate	Nelimitat

Posibilele efectele ale aditivilor au fost îndelung studiate de cercetători. Studii de specialitate au analizat legătura dintre consumul de aspartam și reducerea fertilității la femei datorită unor afecțiuni ovariene [8], apariția cancerului [9], [10] și apariția unor afecțiuni la nivelul trofoblastului la rozătoare [11]. Efectele consumului de acesulfam potasiu au fost, de

asemenea, studiate pentru a determina dacă pot fi asociate cu creșterea riscului de apariție a arteriosclerozei [12]. Un alt îndulcitor artificial ce a fost analizat este zaharina [13].

Efectele aditivilor studiate în articolele prezentate anterior, precum și nevoia oamenilor de evita anumite substanțe din pricina unor afecțiuni de sănătate (diabet, alergii, intoleranță la lactoză) sunt motive valide pentru căutarea unor metode cât mai rapide și precise de analiză a alimentelor și băuturilor. Printre tehnicile întâlnite în literatură se numără: spectroscopia, colorimetria, cromatografia de lichide de înaltă performanță (eng. HPLC - high-performance liquid chromatography) sau interferometria. Partea comună a acestor tehnici de analiză este dată de folosirea luminii pentru analizarea eșantioanelor reprezentative. De exemplu, spectroscopia în domeniul ultraviolet a fost folosită pentru clasificarea vinurilor [14], spectroscopie de fluorescență a fost utilizată pentru analizarea probelor de miere [15], iar spectroscopie în domeniul infraroșu FTIR (eng. Fourier-transform infrared spectroscopy) pentru identificare mostrelor de lapte ce conțineau salmonela [16].

Studiul interacțiunii dintre lumină și materie a început să fie accesibil doar după ce James Maxwell a conceput modelul matematic pentru câmpul electromagnetic, lumina fiind descrisă ca o undă electromagnetică și nu doar ca o rază. Studiul luminii a fost de mare interes și pentru alți cercetători precum Isaac Newton, ce a conceput teoria conform căreia lumina este descrisă ca foton, Christian Huygens sau Thomas Young. Interesul crescut al acestor cercetători importanți accentuează importanța luminii. Până în momentul de față, lumina a fost utilizată în diverse domenii: medicină pentru fotopletismografie [17], biologie (microscopie) [18], în domeniul militar (periscope) [19], astronomie pentru analiza corpurilor cerești utilizând telescoape [20], nu doar pentru analiza unor produse alimentare [15], [21]–[24].

Lucrarea intitulată „Senzori optici și metode avansate utilizate în aplicații pentru analiza băuturilor și a aditivilor alimentari” cuprinde un scurt studiu teoretic asupra tipurilor de senzori optici și a metodelor de analiză bazate pe lumină, studiu teoretic ce este urmat de prezentare rezultatelor cercetării. Cercetarea s-a axat pe analiza unor băuturi și aditivi alimentari folosind metodele și senzorii optici studiați în partea teoretică. Ținând cont de numărul ridicat de studii ce studiază efectele aditivilor alimentari, a numărul tot mai mare de produse alimentare și băuturi, dar și a diverselor metode ce sunt utilizate pentru analizarea, caracterizarea și clasificarea aditivilor alimentari se poate afirma că tema acestei teze este de actualitate și interes pentru societatea contemporană.

## 2. Obiectivele tezei

Această lucrare și-a propus realizarea unui studiu teoretic asupra tipurilor de senzori optici și asupra metodelor avansate de analiză bazate pe interacțiunea dintre lumină și materie. Obiectivul principal al acestei lucrări vizează utilizarea senzorilor și a metodelor studiate pentru analiza aditivilor alimentari și a unor băuturi. Obiectivul principal a fost împărțit în alte patru obiective:

- Testarea unui sistem ce utilizează dispozitive optice cu cost redus pentru analiza în timp a unor sucuri și mostre de lapte.
- Analiza aditivilor alimentari utilizând spectroscopie în domeniul ultraviolet și clasificarea spectrelor obținute prin tehnici de învățare automată.
- Clasificarea spectrelor aditivilor și a amestecurilor de doi aditivi utilizând rețele neuronale artificiale și convoluționale.
- Testarea senzorilor holografici înregistrați pe un fotopolimer comercial cu diverși aditivi alimentari, înregistrarea răspunsului optic și determinarea corelației dintre concentrația soluțiilor utilizate și răspunsul optic generat de senzori.

### 3. Metodologie

Pentru realizarea celor patru obiective propuse în capitolul anterior s-a stabilit o metodologie de cercetare ce cuprinde trei etape: documentare și studiu teoretic, desfășurarea cercetării și valorificarea rezultatelor obținute.

#### 3.1 Documentarea și studiul teoretic

În prima fază, a fost realizată o documentare în domeniul senzorilor optici și a metodelor avansate de analiză ce a permis realizarea unei imagini de ansamblu asupra acestora. S-au identificat mai multe tipuri de senzori optici și aplicații unde aceștia au fost folosiți. S-au studiat diverse metode de analiză și s-au identificat avantajele și dezavantajele acestora. Acest proces de studiu și documentare s-a realizat continuu pe toată durata stadiului de doctorat pentru a fi mereu la curent cu rezultatele obținute de alte grupuri de cercetare și pentru identificarea unor noi nișe de cercetare ce ar putea fi abordate, studiate și cercetate.

#### 3.2 Desfășurarea cercetării

Studiul teoretic a fost urmat de stagiul de cercetare aplicativă ce a fost realizat în colaborare cu mai multe grupuri de cercetare. Stagiul de cercetare aplicativă a debutat prin testarea unor sisteme de analiză ce utilizează dispozitive electronice cu cost redus (LED-uri, senzori optici, spectrometre cu cost redus). S-au analizat probe lichide de băuturi non-alcoolice (sucuri și lapte). Acest proiect a fost dezvoltat împreună cu colectivul de „Optoelectronică” din cadrul Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației (Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca).

Stagiul de cercetare a fost continuat la Universitatea din Riga, în cadrul colectivului „Biomedical Engineering and Nanotechnologies” (BINI) prin intermediul unei burse ERASMUS. În timpul acestei mobilități au fost studiate elemente de bază legate de electroforeză indusă optic (eng. optically induced electrophoresis), micro-fluide și sisteme automate de injecție. S-a proiectat un model tridimensional pentru cuplarea unui LASER alb la o fibra optică. Sistemul se dorea a fi utilizat pentru analiza optică a unor celule.

O altă bursă a fost obținută în cadrul proiectului „Rețea de excelență în cercetare și inovare aplicativă pentru programele de studii doctorale și postdoctorale – InoHubDoc”, bursă ce a permis colaborarea cu colectivul de "Compozite Polimerice" din cadrul Institutului de Chimie „Raluca Ripan” din Cluj-Napoca. În timpul acestei colaborări s-a lucrat la clasificarea spectrelor în domeniul ultraviolet a cinci aditivi alimentari folosind tehnici de învățare automată și profundă.

Pe baza studiului teoretic, s-a dorit utilizarea holografiei pentru analizarea unor probe de băuturi sau aditivi alimentari, în literatura de specialitate, senzorii holografici fiind preponderent utilizați pentru analiza pH-ului, a glucozei sau pentru măsurarea unor parametri externi, cum ar fi temperatura sau umiditatea. Rezultatele bazate pe holografie au fost obținute în timpul unui stagi de cercetare ce a fost realizat în cadrul departamentului de Fizică Aplicată al Universității din Zaragoza, sub îndrumarea atentă a membrilor grupului de holografie “Laboratorio de Holografía” din cadrul grupului „Tecnología Óptica Láser”. Stagiul a fost finanțat prin intermediul unei burse ERASMUS.

Stagiul de cercetare aplicativă a fost consolidat, de asemenea, și prin participarea la trei școli de vară dintre care două pe tematici pedagogice (ELaRa septembrie 2022 și ELaRa iunie 2023) și una pe tehnologii ce utilizează lumina (V International School on Light Sciences and Technologies V-ISLiST, iunie 2022, Santander, Spania). Totodată, participarea în cadrul conferinței pentru tineri cercetători “1ª Jornada de Jóvenes Investigadores del Grupo TOL– 1ª

JOJITOL”, organizată la Universitatea din Zaragoza, a fost de mare ajutor pentru cunoașterea altor tineri cercetători și a domeniilor de cercetare unde aceștia își desfășoară activitatea.

### 3.3 Valorificarea rezultatelor

Activitatea de cercetare a fost finalizată prin valorificarea rezultatelor de pe întreaga perioadă de stagiul sub forma a patru articole prezentate la conferințe internaționale de specialitate și prin publicarea unui articol într-o revistă cotate Q2. Un alt articol este momentan în etapa de recenzie la jurnalul „Optics and Laser Technology”.

Totodată, rezultatelor au fost valorificate și în cadrul unui Simpozion Studențesc organizat de Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației (Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca) unde s-a obținut premiul al doilea la secțiunea Master/Doctorat în anul 2023.

## 4. Structura tezei

Această lucrare a fost împărțită în două mari părți: „Stadiul Actual” și „Contribuții Personale”. Prima parte cuprinde capitolele 1-2, în timp ce a doua include capitolele 3-8 ale tezei.

### 4.1 Stadiul actual

Prima parte a lucrării prezintă elemente teoretice generale despre tematica tezei. Aceasta parte a fost împărțită în două capitole: „Senzori optici și tehnici optice de analiză” și „Metode de învățare automată și profundă”.

Primul capitol este compus din trei subcapitole: „Senzori optici”, „Metode optice de analiză” și „Aplicații ce utilizează metode și senzori optici”. Acest capitol realizează o scurtă prezentare a principalelor clase de senzori și a metodelor optice de analiză. Primul capitol se încheie cu descrierea unor studii unde probe de aditivi sau băuturi au fost analizate cu metodele sau tipurile de senzori prezentați anterior.

Cel de-al doilea capitol a fost împărțit în alte trei subcapitole: „Rețele neuronale artificiale” (eng. ANN – artificial neural network), „Rețele neuronale convoluționale” (eng. CNN – convolutional neural network) și „Aplicații ce utilizează tehnici de inteligență artificială”. Aceste subcapitole realizează o scurtă introducere în domeniul rețelelor neuronale artificiale și convoluționale și a aplicațiilor unde acestea au fost folosite.

#### 4.1.1 Senzori optici și tehnici optice de analiză

**Capitolul 1**, intitulat „Senzori optici și tehnici optice de analiză”, cuprinde noțiuni generale despre senzori optici și metode de analiză ce utilizează lumina. Senzorii optici au fost folosiți în aplicații din domeniul medicinei [25], în sisteme ce monitorizează funcții ale organismului uman [26], în aplicații pentru detectarea nutrienților din sol ce conțin azot, fosfor și potasiu [27], dar și pentru detecția cloramfenicolului în probe alimentare [28].

Pe baza studiului teoretic, a fost posibilă clasificarea senzorilor optici în două mari categorii. Primul tip de senzori optici include dispozitive ce sunt capabile să sesizeze prezența radiației electromagnetice și să o transforme într-un semnal electric (fotorezistoare, fototranzistori, fotodiode), pe când cea de-a doua categorie cuprinde senzori cărora li se modifică proprietățile optice în funcție de acțiunea unei substanțe sau a unui fenomen fizic [29].

Prima categorie de senzori optici, cunoscuți sub denumirea de fotodetectori, pot fi integrați în interiorul unor senzori de imagine CMOS (eng. Complementary-Metal-Oxide-

Semiconductor) și CCD (eng. Charge Coupled Device) sau în interiorul unor dispozitive de analiză, cum ar fi spectrometrele [30] sau cromatografele [31].

Din categoria senzorilor ce își modifică proprietățile optice sub influența unor factori externi (fenomene fizice sau compuși chimici) fac parte senzorii pe fibră optică ce pot fi folosiți ca senzori de temperatură [32], [33] sau umiditate [34]–[36], dar și senzori holografici pentru determinarea pH-ului [37], [38] sau a concentrației de glucoză [39], [40].

Partea de documentare și studiu teoretic a fost continuată prin identificarea unor metode de analiză ce utilizează lumină pentru caracterizarea probelor. Printre tehnicile întâlnite în literatură se numără: spectroscopie, interferometrie, holografie și cromatografie de lichide de înaltă performanță. Spectroscopia este o tehnică de analiză ce studiază interacțiunea dintre o undă electromagnetică și materie [30]. Analizele spectrometrice pot fi realizate cu ajutorul unor dispozitive numite spectrometre. Există mai multe tipuri de spectroscopie, metodele diferentiindu-se prin tipul radiației electromagnetice folosite. De exemplu, spectroscopia UV-VIS este o metodă de analiză ce măsoară cantitatea de radiație ultravioletă ce este absorbită de proba analizată.

Interferometria este o tehnică ce se bazează pe interferența dintre două unde luminoase. Undele sunt emise de aceeași sursă luminoasă, dar parcurg trasee diferite până se reîntâlnesc. Întâlnirea celor două unde luminoase determină apariția unui model de interferență ce conține informații despre proba analizată. Cele mai cunoscute și utilizate interferometre sunt Mach-Zehnder, Michelson, Sagnac și Fabry-Perot.

O altă metodă ce utilizează interferența undelor luminoase este holografia [41]. Holografia este o metodă prin care sunt înregistrate imagini tridimensionale ale unor obiecte folosind o sursă de lumină monocromatică ce emite unde coerente și un material sensibil la lumină unde se va imagina achiziționată.

Cromatografia de înaltă performanță este o tehnică de separare, identificare și cuantificarea a unor compuși chimici dintr-un amestec. Metoda utilizează o pompă de înaltă presiune, o coloană, un sistem de injecție și un fotodetector [42]. În mod normal, nu se folosește doar un singur fotodetector, ci o serie de fotodiode ce pot detecta radiație vizibilă sau ultravioletă.

În literatura de specialitate s-au identificat numeroase studii științifice unde metodele studiate erau utilizate pentru analiza unor băuturi sau aditivi alimentari. Articole științifice studiate utilizau spectroscopie în domeniul ultraviolet [43], [44], spectroscopie în domeniul infraroșu [45], [46], holografie [47] și HPLC [48]–[51].

#### 4.1.2 Metode de învățare automată și profundă

În **capitolul 2** sunt descrise metode de învățare automată și profundă. Aceste metode sunt o ramură a tehnicilor de inteligență artificială care pe baza analizei unor seturi de date învață să recunoască caracteristicile datelor. Pe baza caracteristicilor învățate, acești algoritmi pot face predicții cât mai precise pe seturi noi de date, îmbunătățindu-și astfel performanțele.

Pentru a se putea face predicții pe seturi noi de date, algoritmi trebuie mai întâi antrenați și testați, iar în final modelul creat trebuie validat pentru a testa acuratețea de clasificare a acestuia. În consecință, este nevoie ca setul inițial de date să fie împărțit între trei seturi: unul pentru antrenare (aproximativ 80% din baza de date), unul pentru testare și unul pentru validare.

Printre cei mai utilizați algoritmi de clasificare automată se pot enumera algoritmi de tip arbori de decizie (eng. decision trees), cei mai apropiați vecini (eng. kNN – k-nearest neighbours) și mașini cu vectori suport (eng. SVM – support vector machine). Aceste tehnici de învățare automată au fost utilizate în consultanță financiară, pentru recunoaștere facială sau vocală, sortarea e-mailurilor și mașini cu conducere autonomă.

Metodele de învățare profundă (eng. deep learning) cuprind metode ce prezintă un mod de funcționare similar cu cel al creierului uman. Metodele se bazează pe conceperea unor rețele

neuronale artificiale formate din mai multe straturi ce conțin neuroni artificiali. În interiorul unei rețele neuronale pot exista mai multe tipuri de straturi: straturi convoluționale (eng. convolutional layers), straturi ascunse (eng. hidden layers), straturi de intrare/ieșire (eng. input/output layer), straturi de subesantionare (eng. pooling layers). O rețea neuronală artificială (eng. ANN – artificial neural network) prezintă un strat de intrare, unu sau mai multe straturi ascunse și un strat de ieșire. Aceste straturi sunt denumite și „straturi dens conectate” (eng. fully connected layers). În structura unei rețele neuronale convoluționale, pe lângă straturile dens conectate mai există și straturi convoluționale urmate sau nu de straturi de subesantionare.

Au fost studiate articole despre tehnici de învățare automată [52]–[55], dar și articole științifice unde aceste tehnici au fost cuplate cu tehnici optice pentru analiza unor eșantioane de băuturi [21], alimente [56]–[59] sau aditivi alimentari [60]. De exemplu, spectroscopia terahertz a fost utilizată împreună cu algoritmi SVM pentru identificarea aditivilor pe bază de cumarină [60], iar probe de gelatină au fost analizate prin metode de spectrometrie și algoritmi SVM [56].

## 4.2 Contribuții personale

A doua parte a lucrării cuprinde contribuțiile personale dezvoltate pe durata stagiului de doctorat. Dacă în prima parte s-a realizat un studiu teoretic, în cea de-a doua parte senzori și metodele optice au fost utilizate în aplicații practice pentru analiza unor mostre lichide (băuturi și aditivi alimentari). În consecință, cea de-a doua parte a tezei a fost structurată în șase capitole: „Introducere și Obiective”, „Montaje experimentale de analiză a băuturilor”, „Clasificarea aditivilor alimentari utilizând tehnici de învățare automată”, „Clasificarea aditivilor alimentari utilizând rețele neuronale”, „Senzori holografici” și „Concluzii finale”.

**Capitolul 3** realizează o scurtă introducere în tematica tezei și fixează principalele obiective ce s-au dorit a fi realizate pe parcursul stagiului de doctorat. **Capitolele 4-7** descriu soluțiile adoptate pentru analiza probelor lichide de băuturi și aditivi alimentari și rezultatele obținute pentru fiecare analiză în parte. **Capitolul 8** este dedicat prezentării succinte a concluziilor și a contribuțiilor personale apportate de această lucrare.

### 4.2.1 Montaje optice de analiză a băuturilor

**Capitolul 4**, intitulat „Montaje experimentale de analiză a băuturilor”, prezintă sisteme de analiză ce au fost concepute pentru a analiza unor probe de lapte și sucuri (naturale și din comerț). S-a dorit utilizarea unor dispozitive optice (diode electroluminescente și senzori optici) cu costuri reduse în montajele concepute. În momentul de față există aparatură specializată ce ar putea monitoriza evoluția în timp a probelor, dezavantajul acestor echipamente fiind reprezentat de prețul ridicat și de dimensiunile considerabile ale dispozitivelor. În consecință, s-a dorit implementarea unui sistem de analiză de costuri și dimensiuni reduse.

Ideea acestui studiu se bazează pe două articole de specialitate [61], [62] ce prezintă două dispozitive de analiză concepute cu dispozitive optice de cost redus. Primul articol utilizează dispozitive LED (eng. light emitting diode – diode electroluminescente) ce emit radiație ultravioletă și senzorul ML8511 pentru analiza unor probe de apă ce conțin nitriți și nitrați [61]. În cel de-al doilea articol senzorul de culoare TCS3200 fost utilizat pentru determinarea dependenței dintre spectrul de absorbție și numărul de eritrocite regăsite în probele de sânge analizate [62]. Totodată, LED-urile cu emisie în ultraviolet au fost folosite și pentru sterilizarea apei [63], iar LED-uri și fototranzistoare în domeniul infraroșu pentru detecția alcoolului izopropilic [64].

În consecință, pentru analiza probelor de lapte și sucuri s-au ales următoarele componente: senzorul AS7262 cu 6 canale în domeniul vizibil [65] și un dispozitiv LED ce emite



lumină albă [66]. Între sursa de lumină și senzor a fost plasată o cuvă în care era depozitată proba de analizat. S-a dorit analizarea degradării în timp a probelor pe baza diferenței de lumină ce ajunge pe suprafața senzorului. Emitorul, cuva și detectorul trebuiau să fie perfect aliniat pentru ca lumina să ajungă la probă, iar partea ce nu este absorbită să ajungă ulterior pe suprafața senzorului. Alinierea componentelor a fost posibilă prin proiectarea tridimensională a unor componente de susținere conform dimensiunilor componentelor. Componentele de susținere au fost realizate fizic utilizând o imprimantă 3D.

În Figura 4.1 este prezentat montajul ce a fost utilizat pentru analizarea probelor. LED-ul a fost alimentat prin intermediul modului HW-131 ce poate genera tensiuni de 3.3V și 5V. Senzorul AS7262 a fost conectat la microcontrolerul ATMEGA328P de pe placa de dezvoltare Arduino, acesta având rolul de a citi și prelucra datele primite de la senzor.

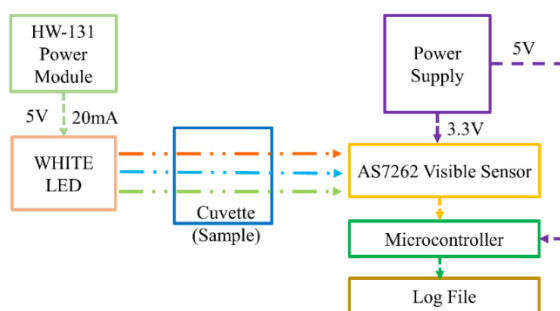


Figura 4.1 Montaj experimental în domeniul vizibil (adaptat după [67]) © 2021 IEEE

În Figura 4.2 este prezentat modelul tridimensional creat pentru a preveni deplasarea LED-ului și a senzorului AS7262. Deschizăturile din Figura 4.2 (a) și (b) sunt necesare pentru ca lumina să poată ajunge de la emitor la senzor.

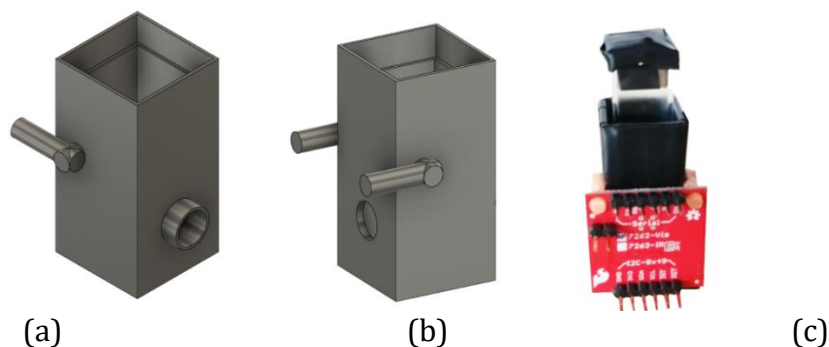


Figura 4.2 Structura de susținere (a) vedere din partea stângă (b) vedere din partea dreaptă (c) structura imprimată, senzorul AS7262, cuva și capacul proiectat [67] © 2021 IEEE

Senzorul AS7262 poate fi fixat de structura creată prin intermediul celor două extremități laterale. Extremitățile pot fi observate în Figura 4.2 (b). Pentru a preveni evaporarea probelor pe parcursul perioadei de analiză, a fost proiectat și imprimat un capac pentru cuvă. În Figura 4.2 (c) este reprezentată structura de susținere (componenta reală), senzorul AS7262, iar în interior este vizibilă cuva în care se plasează proba de analizat.

S-au realizat trei seturi de măsurători pe probele de lapte. Rezultatele primului set de măsurători sunt ilustrate în Figura 4.3 (a). Se observă o creștere a valorilor măsurate pentru cele șase canale în primele zile ale analizei, după care urmează o descreștere a valorilor achiziționate. Pe parcursul celor șapte zile în care proba de lapte a fost analizată, consistența și textura acesteia s-a schimbat (proba de lapte nu mai era lichidă la finalul ultimei măsurători).

În consecință, creșterea valorilor detectate de senzor a fost asociată cu fenomenul de fermentație a laptelui.

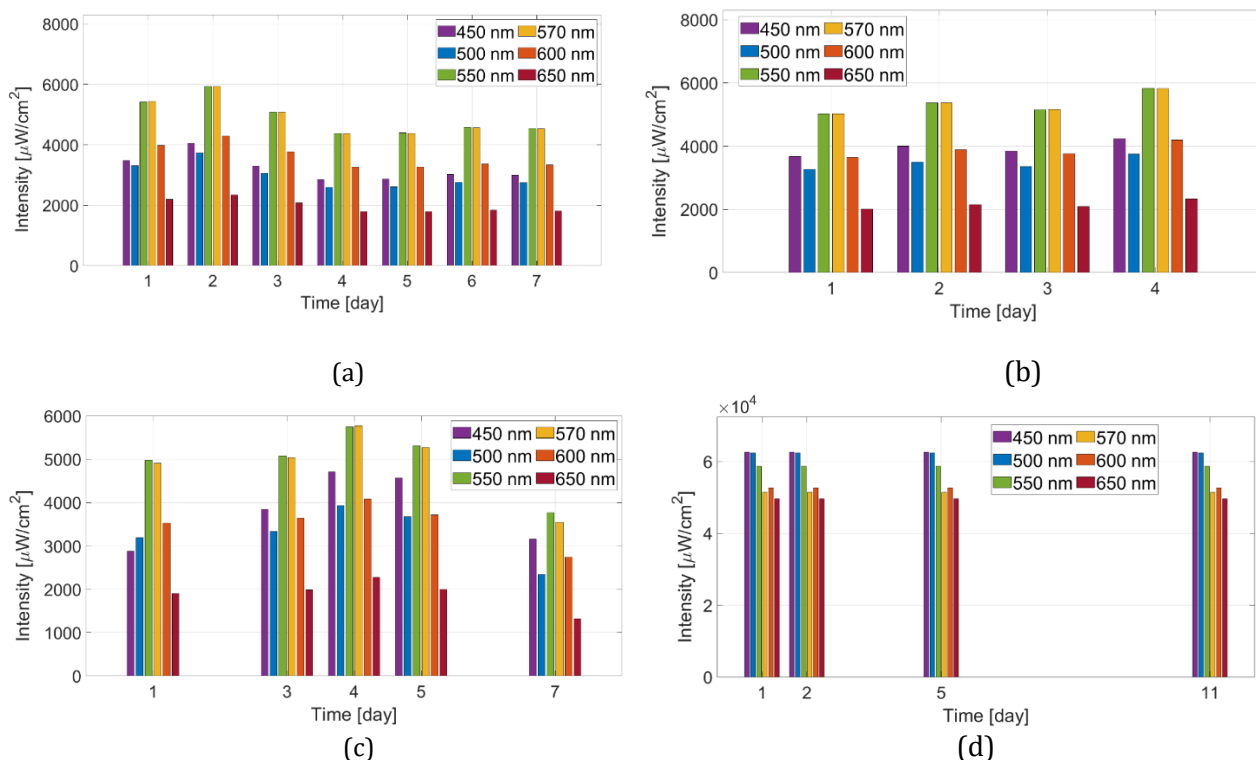


Figura 4.3 Rezultatele obținute pentru probele de lapte și sucuri comerciale (a) primul set de măsurători (lapte) adaptat după [67] © 2021 IEEE (b) al doilea set de măsurători (lapte) (c) al treilea set de măsurători (lapte) (d) măsurători pentru sucurile comerciale;

În Figura 4.3 (b) sunt prezentate rezultatele celui de-al doilea set de măsurători, creșterea valorilor fiind din nou vizibilă. Rezultate similare au fost obținute și în Figura 4.3 (c) pentru cel de-al treilea set de măsurători. S-au analizat, de asemenea, și probe de suc natural și comercial. S-au ales trei tipuri de sucuri comerciale ce au fost analizate pe o perioadă de unsprezece zile. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în Figura 4.3 (d). Nicio modificare nu a fost sesizată pe durata analizei pentru cele trei tipuri de sucuri alese.

Tabel 4.1 pH-ul sucurilor naturale

Citrus Fruit	pH de referință[68]	pH inițial	pH final	$\Delta\text{pH}$
Lămâie	$2.34 \pm 1.8$	2.7	2.4	0.3
Portocală	$3.60 \pm 1.9$	4	3.6	0.4
Grepfrut	$3.00 \pm 2.5$	3.5	3.3	0.2

Studiul a fost continuat prin analizarea unor sucuri naturale (suc de portocală, lămâie și grepfrut). S-a analizat de această dată și evoluția pH-ului pentru cele trei probe de suc. Figura 4.4 (a), (b) și (c) prezintă rezultatele obținute cu ajutorul senzorului AS7262 pentru cele trei sucuri, iar în Figura 4.4 (d) este prezentată evoluția pH-ului pentru cele trei sucuri. Conform rezultatelor, pH-ul mostrelor scade (Tabel 4.1), pe când cantitatea de lumină ce trece prin probe și ajunge pe suprafața senzorului crește, în special pentru canalul de 450 nm al senzorului AS7262.

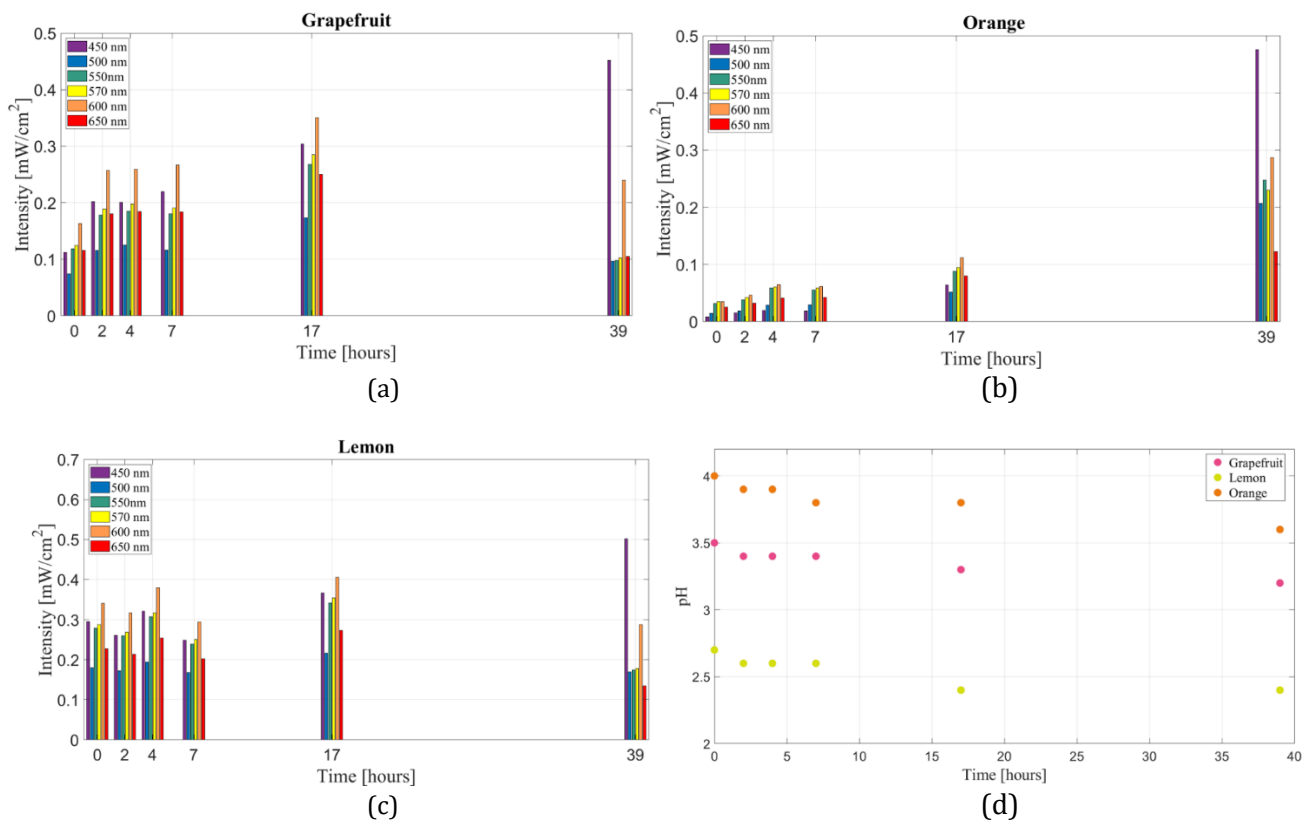


Figura 4.4 Rezultatele obținute pentru sucurile naturale (a) pentru sucul de grapefruit; (b) măsurători pentru sucul de portocală; (c) măsurători pentru sucul de lămâie; (d) măsurători ale pH-ului din [69]

Rezultatele prezentate indică faptul că montaje experimentale cu dispozitive optice de cost redus pot aporta informații despre probele analizate. Un montaj experimental asemănător a fost utilizat pentru analizarea unor probe de lapte necontaminate și contaminate cu uree [70]. Montajul utilizează senzorul AS7265 ce poate măsura absorbția pe un domeniu mult mai larg de lungimi de undă (410 – 940 nm), comparativ cu senzorul AS7262 ce a fost folosit în această lucrare. Rezultatele experimentale au indicat că probele contaminate aveau o absorbție mai mică decât cele necontaminate. Asemănător, în cazul probelor ce s-au considerat a fi fermentate, intensitatea detectată de senzor a fost mai mare, ceea ce înseamnă că absorbția avea valori mai reduse.

#### 4.2.2 Clasificarea aditivilor alimentari utilizând tehnici de învățare automată

În **capitolul 5**, intitulat „Clasificarea aditivilor alimentari utilizând tehnici de învățare automată” se prezintă o modalitate de clasificare a cinci aditivi alimentari folosind spectroscopie în domeniul UV și trei tehnici de învățare automată. Analizele spectrometrice au fost realizate pe probe lichide, aditivii alimentari fiind dizolvați în apă distilată.

Probele lichide au fost depozitate în cuve de cuarț și poziționate în interiorul spectrometrului pentru a fi analizate. Figura 4.5 prezintă locul de poziționare a cuvetelor în interiorul spectrometrului [71]. O cuvă este folosită ca referință și în consecință trebuie umplută cu solventul în care se realizează dizolvarea aditivilor (apă distilată), iar în cea de-a doua trebuie adăugată proba de analizat.

Spectrele achiziționate se doreau a fi folosite ca date de antrenare, testare și validare a algoritmilor. În consecință, a fost nevoie ca pentru fiecare aditiv în parte să se achiziționeze mai multe spectre. Din acest motiv s-au preparat soluții de concentrații diferite pentru fiecare aditiv. Intervalele concentrațiilor molare utilizate pentru fiecare aditiv sunt prezentate în Tabel 4.2.



Figura 4.5 Poziționarea cuvetelor în interiorul spectrometrului (A. cuva de referință; B. cuva cu proba de analizat)

Tabel 4.2 Concentrațiilor molare ale soluțiilor preparate [6]

Denumirea aditivului alimentar	Concentrație molară minimă [M]	Concentrație molară maximă [M]
Acesulfam potasiu	0.0000937	0.000625
Aspartam	0.00175	0.01
Benzoat de sodiu	0.0000137	0.0005
Sorbat de potasiu	0.00000312	0.000195
Zaharină	0.000292	0.00225

În Figura 4.7 (a) absorbanta maximă, 1.4 A.U (eng. absorbance units - unități arbitrare), corespunde unei soluții cu o concentrație molară de 0.000156 M. Valoarea absorbantei scade pentru concentrații molare mai reduse (0.0000781 M și 0.0000390 M) confirmându-se legea Beer-Bouguer-Lambert. Spectrele celor trei aditivi sunt diferite prin formă, numărul de vârfuri de absorbanta și prin lungimea de undă unde apar acestea. Acest lucru face posibilă clasificarea substanțelor prin intermediul spectrelor.

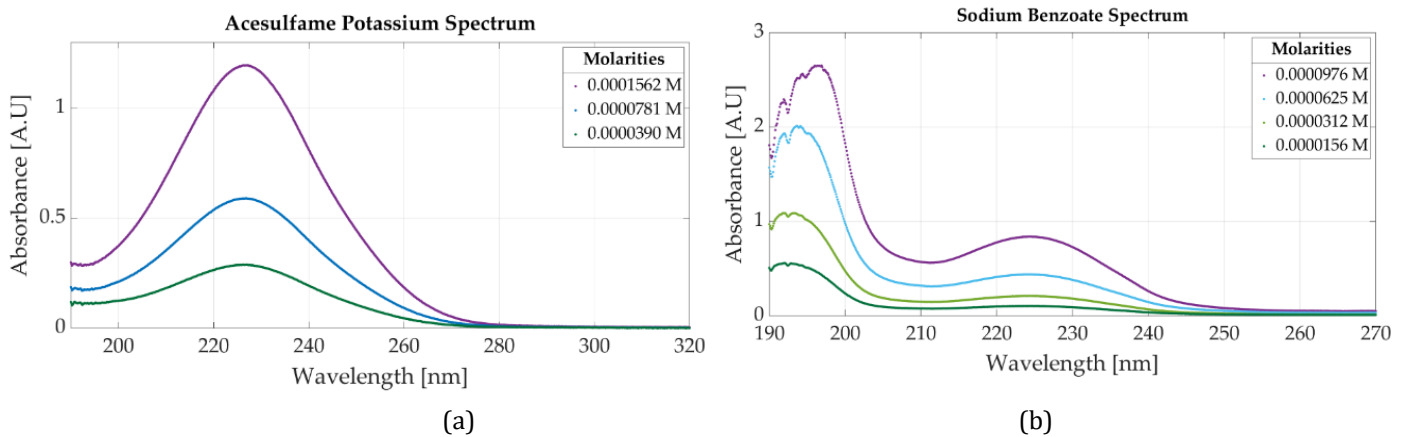


Figura 4.6 Spectrele aditivilor alimentari (a) spectrul a cinci soluții de acesulfam potasiu de concentrații diferite; (b) spectrul a patru soluții de benzoat de sodiu de concentrații diferite [6]

Pentru a putea aplica tehnicile de învățare automată a fost necesară calcularea unor parametri pe baza spectrelor: FWHM (eng. full width half maximum – lățimea completă la jumătate din maxim),  $\lambda_P$  (lungimea de undă unde apare maximul de absorbanta),  $\lambda_L$  și  $\lambda_R$  (lungimile de undă unde regăsim jumătate din absorbanta maximă). Parametrul FWHM poate fi calculat ca diferența între lungimile de undă unde regăsim jumătate din absorbanta maximă.

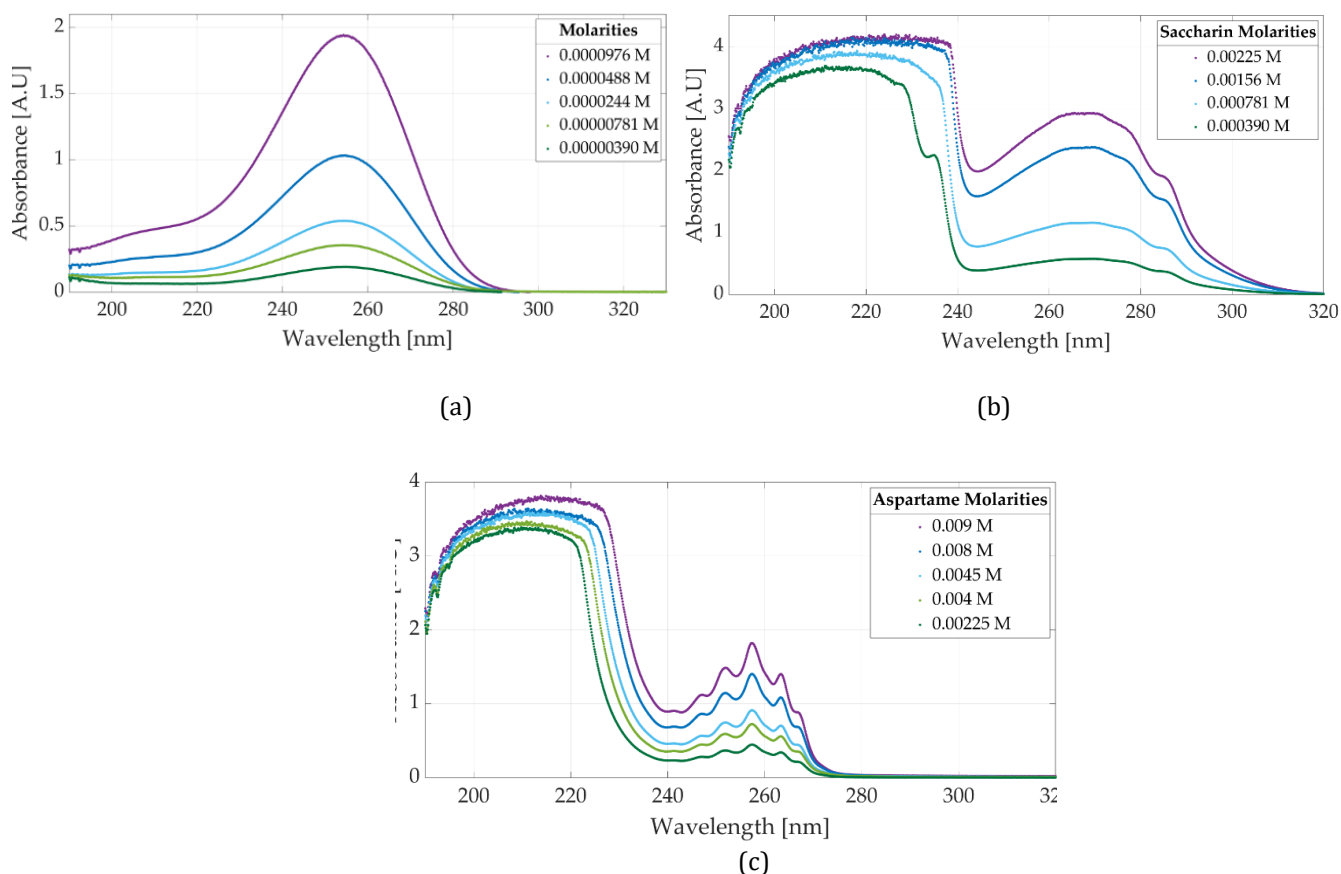


Figura 4.7 Spectrul aditivilor alimentari (a) spectrul a cinci soluții de sorbat de potasiu de concentrații diferite; (b) spectrul a cinci soluții de zaharină de concentrații diferite; (c) spectrul a patru soluții de aspartam de concentrații diferite [6]

Pentru a stabili dacă spectrele erau simetrice față de valoarea maximă a absorbanței s-a calculat diferența între  $\lambda_P$  și  $\lambda_L$ , respectiv  $\lambda_R$  și  $\lambda_C$  și parametrul Skewness. Pe lângă acești parametri a mai fost calculat și parametrul Kurtosis, precum și erorile relative ale următorilor parametri:  $\lambda_P$ ,  $\lambda_L$ ,  $\lambda_R$  și FWHM. În Tabel 4.3 sunt prezentați o parte din parametrii calculați pentru spectrele aditivilor.

Tabel 4.3 Parametri calculați pe baza spectrelor

Parametri	Acesulfam potasiu	Aspartam	Benzoat de sodiu	Sorbat de potasiu	Zaharină
Concentrație molară [M]	0.000375	0.007	0.00025	0.00225	0.00225
Absorbanța maximă [A.U]	3.494	1.629	1.673	3.392	2.929
$\lambda_C$ [nm]	226.6	257.4	224	253.9	269.6
$\lambda_L$ [nm]	207.7	242.8	211.2	232.1	244.3
$\lambda_R$ [nm]	247	266.1	237	271.9	286.5
FWHM [nm]	39.3	23.3	25.8	39.8	42.2

Pentru fiecare aditiv s-au înregistrat 15 spectre, pentru care s-au calculat parametri enumerați anterior. Datele obținute au fost utilizate pentru antrenarea și testarea algoritmilor de învățare automată. Baza de date a fost împărțită aleatoriu în două seturi de date. Setul de antrenare conținea 80% din date (60 de spectre), diferența de 20% fiind utilizată pentru determinarea acurateții de clasificare a algoritmului în etapa de testare.

Prima tehnică de învățare automată cu care s-a realizat clasificarea spectrelor a fost SVM. A fost necesară asocierea unui cod numeric fiecărui aditiv (1- acesulfam potasiu, 2 – aspartam, 3 – benzoat de sodiu, 4 – sorbat de potasiu și 5 – zaharină). În Figura 4.8 (a) este

prezentată matricea de confuzie obținută după antrenarea și testarea sistemului. Pe orizontală sunt reprezentate cele cinci clase reale din care fac parte probele analizate, pe când pe verticală sunt trecute clasele prezise de algoritmi. În urma analizei SVM, toate cele 15 spectre au fost corect clasificate. Clasificarea spectrelor a fost realizată și prin intermediul tehnicii kNN. Matricea de confuzie corespunzătoare acestei tehnici este prezentată în Figura 4.8 (b). Toate cele 15 seturi de date au fost clasificate corect utilizând acest algoritm de învățare automată, acuratețea fiind de 100%.

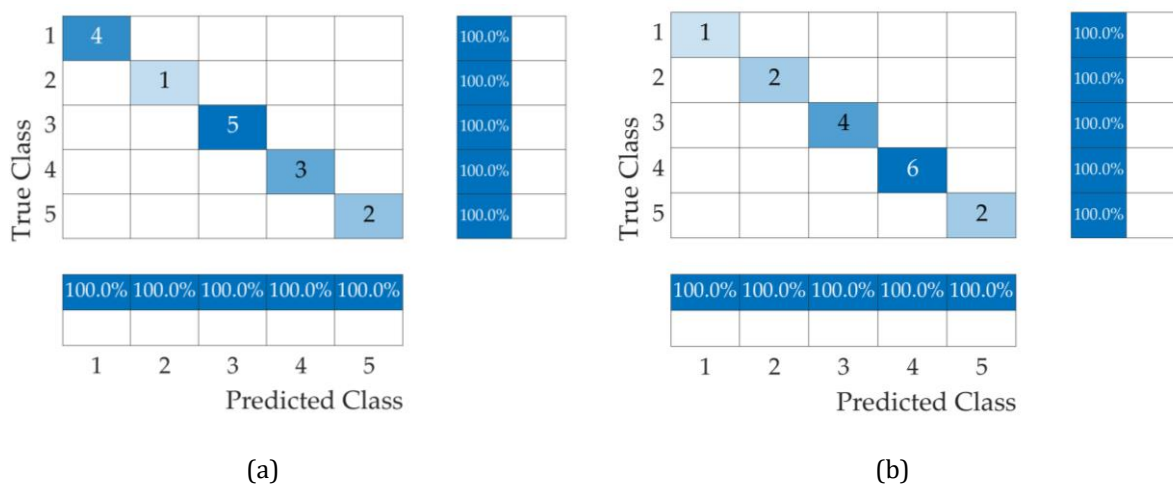


Figura 4.8 Matrice de confuzie (a) pentru algoritmul SVM (b) pentru algoritmul kNN

Cea de-a treia metodă de învățare automată utilizată pentru clasificarea spectrelor a fost cea a arborilor de decizie. Matricea de confuzie din Figura 4.9 (a) indică că un spectru din clasa numerotată cu 1 (acesulfam potasiu) a fost incorect clasificat ca aparținând clasei 3 (benzoat de sodiu). Conform rezultatelor, cei mai importanți parametri după care s-a realizat această clasificare sunt  $\lambda_L$ , eroarea relativă pentru  $\lambda_L$ ,  $\lambda_C$  și Kurtosis.

Pentru a determina acuratețea medie a fiecărui algoritm, spectrele au fost clasificate de 10 ori utilizând fiecare algoritm. Acuratețea medie a algoritmilor a fost de 100% pentru algoritmii SVM și kNN și de 99.33 %  $\pm$  2.1 % pentru arbori de decizie.

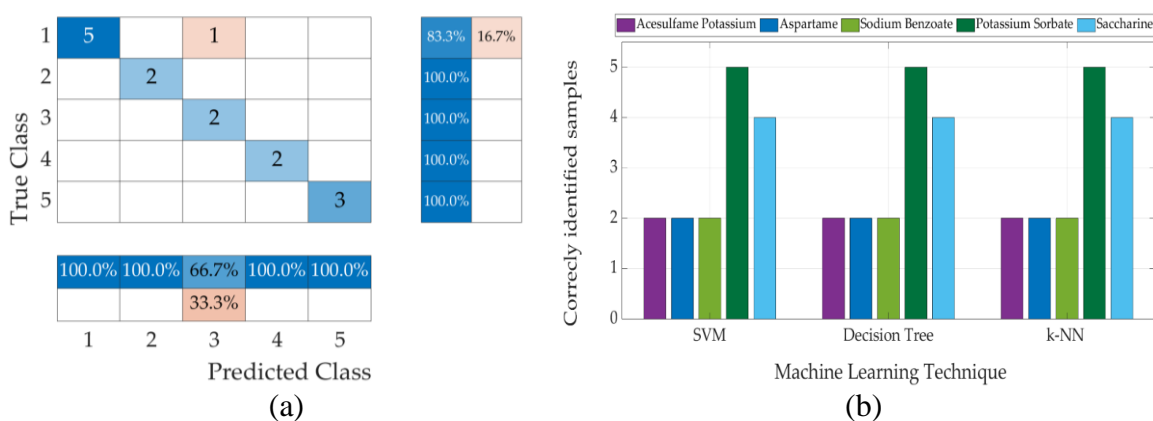


Figura 4.9 (a) Matrice de confuzie pentru arbori de decizie; (b) Rezultatele pentru validarea modelelor;

Pentru fiecare din cele trei metode de învățare automată a fost creat un model de clasificare. Acuratețea de clasificare a modelelor a fost realizată prin utilizarea unui set adițional de spectre ce cuprindea 15 măsurători: 2 pentru acesulfam potasiu, 2 pentru aspartam, 2 pentru benzoat de sodiu, 5 pentru sorbat de potasiu și 4 pentru zaharină. Rezultatele etapei de validare sunt ilustrate în Figura 4.9 (b). Ținând cont că baza de date



conține un număr destul de mic de spectre, toate cele 15 spectre au fost clasificate corect în etapa de validare utilizând cei trei algoritmi.

#### 4.2.3 Clasificarea aditivilor alimentari utilizând rețele neuronale

Studiul aditivilor alimentari și a clasificării spectrelor a fost continuat în **capitolul 6**. S-a dorit creșterea numărului de spectre pentru fiecare tip de aditiv, precum și analizarea, respectiv clasificarea spectrelor amestecurilor de doi aditivi.

Baza de date a fost mărită, în final, obținându-se 193 de spectre pentru cele cinci tipuri de aditivi. Studiul a fost continuat prin prepararea unor soluții mixte de doi aditivi și analizarea spectrometrică a amestecurilor. Soluțiile mixte au fost preparate prin amestecul a două soluții simple (aditivi au fost dizolvați în apă distilată fiecare într-un recipient separat). Într-un pahar Berzelius s-au amestecat 2 ml din fiecare soluție simplă pentru a obține amestecul. Pentru a scădea concentrația molară a amestecului s-au realizat diluții. Utilizând cei cinci aditivi s-au preparat 10 amestecuri diferite pentru care s-au înregistrat 211 spectre.

Anterior în Figura 4.6 (a) și Figura 4.7 (a) s-a prezentat că maximul de absorbantă specific unei soluții ce conține acesulfam potasiu apare pentru o lungime de undă de 226 nm, iar în cazul unei soluții de benzoat de sodiu, maximul se regăsește la 254 nm. Figura 4.10 (a) prezintă spectrele a trei soluții: prima soluție are o concentrație molară de 0.00005 M acesulfam potasiu; cea de-a doua conține 0.0000156 M sorbat de potasiu; iar cea de-a treia soluție a fost obținută prin amestecarea sorbatului de potasiu cu acesulfam potasiu. Concentrația molară a amestecului este 0.0000585 M acesulfam potasiu și 0.0000219 M sorbat de potasiu. Spectrul amestecului conține atât maximul de absorbantă specific acesulfamului (226 nm), cât și cel al sorbatului de potasiu (254 nm).

În Figura 4.10 (b) este reprezentat spectrul unei amestec de benzoat de sodiu și sorbat de potasiu. Se observă că spectrul amestecului conține maximele de absorbantă specifice fiecărui aditiv (254 nm pentru sorbat de potasiu, respectiv 224 nm și 194 nm pentru benzoatul de sodiu). Rezultate similare au fost obținute și pentru celelalte nouă spectre.

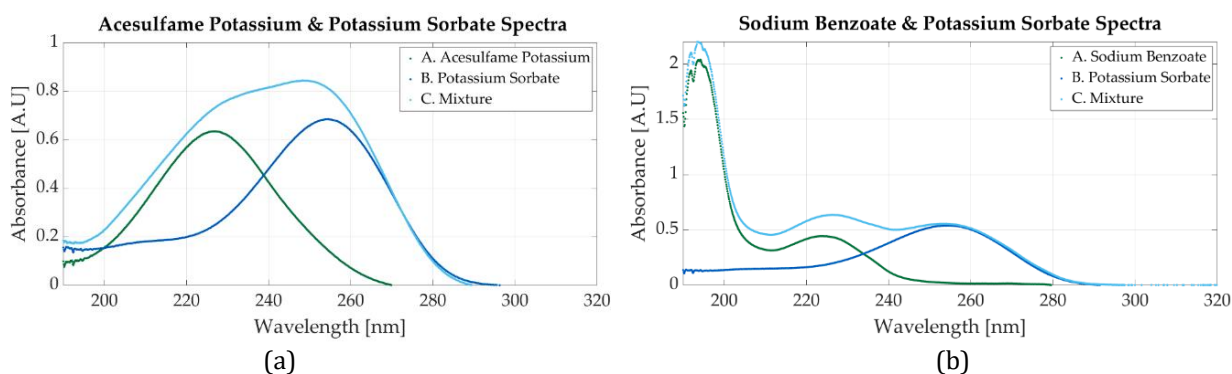


Figura 4.10 Spectrele aditivilor (a) A. spectrul unei soluții de acesulfam potasiu; B. spectrul unei soluții de sorbat de potasiu; C. spectrul unui amestec de acesulfam potasiu și sorbat de potasiu; (b) A. spectrul unei soluții de benzoat de sodiu; B. spectrul unei soluții de sorbat de potasiu; C. spectrul unei amestec de benzoat de sodiu și sorbat de potasiu [6]

Creșterea semnificativă a numărului de spectre (404 dintre care 193 pentru substanțe simple și 211 pentru amestecuri) a permis utilizarea unor rețele neuronale artificiale și convoluționale în locul tehnicilor de învățare automată pentru clasificarea spectrelor. În Figura 4.11 (a) este prezentată structura rețelelor neuronale artificiale. S-a testat clasificarea spectrelor cu o rețea cu un strat ascuns și cu două pentru a compara acuratețea obținută.

Clasificarea spectrelor a fost realizată și cu ajutorul unor rețele convoluționale cu 1, 2 sau 3 straturi convoluționale urmate sau nu de straturi de subeșantionare. Structura rețelelor

convoluționale este prezentată în Figura 4.11 (b). Rețelele neuronale au fost utilizate pentru clasificarea spectrelor simple, a spectrelor mixte și a tuturor spectrelor. Pentru fiecare tip de clasificare s-a rulat analiza de zece ori și s-a calculat acuratețea atât pentru etapa de testare și cât și pentru cea de validare.

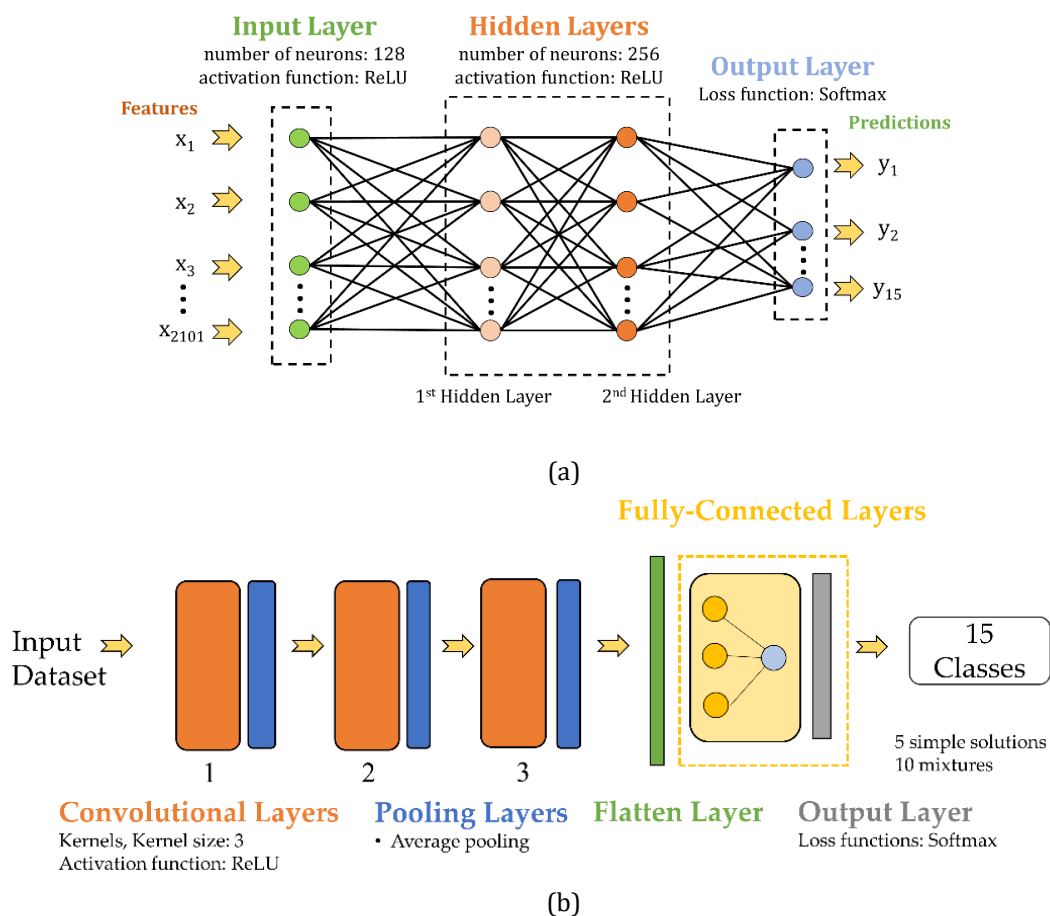


Figura 4.11 Structura rețelelor neuronale (a) artificiale; (b) convoluționale [6]

În Tabel 4.4 sunt prezentate rezultate de acuratețe a rețelelor neuronale ce au obținut cele mai bune rezultate în urma clasificărilor. Rezultatele indică că prin utilizare unor rețele neuronale convoluționale se identifică corect cele mai multe spectre, obținându-se valori ale acurateței medii de peste 90%. S-a realizat și o analiză a varianței (eng. ANOVA – analysis of variance) pentru a determina care dintre aceste rețele ar putea recunoaște cele mai multe spectre, din punct de vedere statistic. Rezultatele analizei au indicat, de asemenea, că rețele neuronale convoluționale sunt mai bune pentru clasificarea spectrelor.

Rezultatele acestui studiu au indicat că aditivi alimentari pot fi clasificați în funcție de spectrele UV ale acestora utilizând rețele neuronale. Cele mai bune rezultate au fost obținute cu rețelele convoluționale. O lucrare științifică identificată în literatura de specialitate [72] utilizează algoritmi de BP-ANN (eng. back-propagation neural network algorithm – rețea neuronală artificială cu propagare înapoi) și PLS (eng. partial least squares – metoda celor mai mici pătrate) pentru analizarea spectrelor UV. Prin utilizarea acestor metode a fost posibilă identificarea celor doi aditivi alimentari în soluții simple, amestecuri dar și probe reale. Comparativ cu acest studiu, în această lucrare s-au analizat spectrele a cinci tipuri de aditivi din două clase diferite (îndulcitori și conservanți) precum și spectrele a zece tipuri de amestecuri de doi aditivi. Cele 404 spectre înregistrate au fost clasificate utilizând opt arhitecturi diferite de rețele neuronale. Analiza unor mostre reale nu a fost realizată, dar se dorește extinderea



bazei de date cu spectre ale unor amestecuri de trei, patru și chiar mai mulți aditivi, precum și analizarea spectrelor unor aditivi noi.

Tabel 4.4 Acuratețea rețelelor neuronale [6]

Baza de date	Rețea neuronală	Etapă	Acuratețea medie [%]	Deviație standard [%]
Soluții simple	CNN2*	Testare	99.67	1.02
		Validare	99.67	1.02
Amestecuri	CNN1*	Testare	91.94	4.02
		Validare	94.16	3.05
Toate soluțiile	CNN3	Testare	92.38	1.48
		Validare	93.43	2.01

CNN1\* - CNN cu 1 strat convoluțional urmat de un strat de subeșantionare.

CNN2\* - CNN cu 2 straturi convoluționale urmate de două straturi de subeșantionare.

CNN3\* - CNN cu 3 straturi convoluționale urmate de trei straturi de subeșantionare.

#### 4.2.4 Senzori holografici

Analiza aditivilor alimentari a fost continuată, în **capitolul 7**, prin folosirea unor metode holografice. Pentru înregistrarea hologramelor s-a dorit utilizarea unui fotopolimer comercial pentru a reduce timpul de obținerea a hologramei. Dezavantajul folosirii unui fotopolimer comercial constă în necunoașterea structurii chimice a acestuia, fiind necesară testarea hologramelor cu diverși aditivi alimentari pentru a determina ce substanțe produc sau nu o schimbare a proprietăților optice ale hologramei.

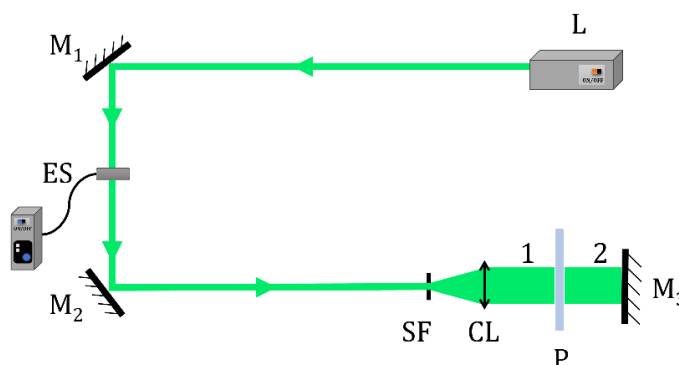


Figura 4.12 Montaj experimental (M1, M2, M3 - oglinzi, ES – obturator electronic, SF – filtru spațial, CL – lentile de colimare, P – fotopolimer, 1 – unda de referință, 2 – unda obiect)<sup>1</sup> [73]

Capitolul debutează prin prezentarea procesului de înregistrarea a hologramelor pe un fotopolimer comercial numit Bayfol® HX200 [74], [75]. Figura 4.12 și Figura 4.13 prezintă montajul utilizat pentru înregistrarea hologramelor. LASER-ul utilizat are o lungime de undă de 532 nm. Materialul fotosensibil a fost atașat de o lamelă de microscop pentru a evita mișcarea fotopolimerului în timpul interferenței dintre cele două unde. Pe o singură lamelă s-au înregistrat trei holograme, precum este ilustrat în Figura 4.14.

S-a dorit utilizarea hologramele înregistrate pe BAYFOL pentru detecția unor aditivi alimentari. Sensibilitatea hologramelor la unul s-au mai mulți aditivi se poate detecta prin monitorizarea spectrului difractat. Schimbarea lungimii de undă indică prezența unei anumite substanțe (substanța determină modificări în modelul de interferență ce a fost înregistrat). În Figura 4.15 (a) este reprezentată modificarea lungimii de undă difractate datorată acțiunii unui compus. Pentru monitorizarea deplasării spectrului difractat s-a utilizat montajul experimental din Figura 4.15 (b).

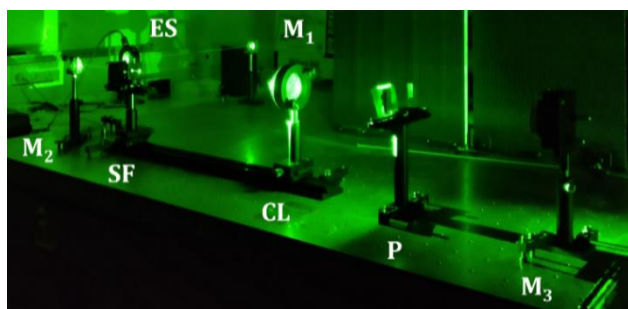


Figura 4.13 Montajul real ( $M_1, M_2, M_3$  - oglinzi, ES - obturator electronic, SF - filtru spațial, CL - lentile de colimare, P - fotopolimer, 1 - unda de referință, 2 - unda obiect)<sup>1</sup>

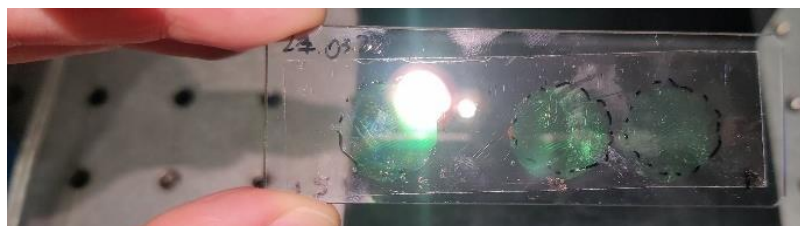


Figura 4.14 Lamelă de microscop cu trei holograme înregistrate pe fotopolimerul BAYFOL® HX2001<sup>1</sup>

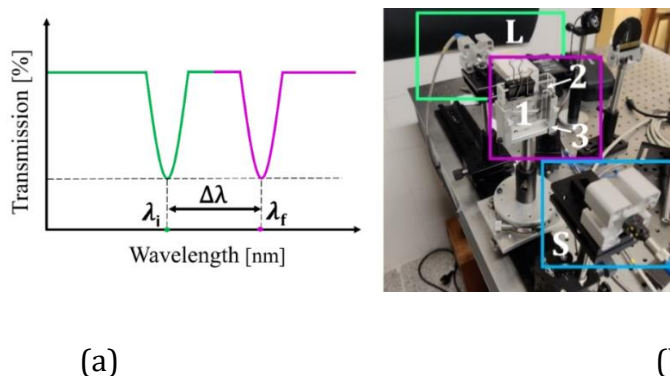


Figura 4.15 (a) Deplasarea spectrului difractat ( $\lambda_i$  - lungimea de undă inițială;  $\lambda_f$  - lungimea de undă finală;  $\Delta\lambda$  diferența de lungime de undă); (b) Montaj experimental pentru monitorizarea spectrului difractat (L - lampa tungsten halogen; 1 - lamelă de microscop cu holograma atașată; 2 - cuva; 3 - suport pentru cuvă; S - spectrofotometru)<sup>1</sup> [73]

Hologramele înregistrate au fost testate utilizând mai mulți aditivi alimentari. În literatura de specialitate s-au regăsit articole unde senzorii holografici erau utilizați pentru detecția pH-ului [37], [38]. Neștiind dacă senzorii holografici înregistrați pe BAYFOL puteau fi folosiți pentru detecția pH-ului, hologramele au fost testate cu mai mulți acizi și baze chiar dacă acestea nu se folosesc în industria alimentară și nu sunt aditivi. Hologramele au fost testate cu un acid tare (acid sulfuric), trei acizi slabi (acid citric, acid acetic și acid ascorbic), o bază tare (hidroxid de sodiu), o bază slabă (bicarbonat de sodiu) și cu un alcool (etanol). S-au preparat soluții de diverse concentrații și s-a monitorizat deplasarea lungimii de undă pe un interval de 5 minute. Rezultatele măsurătorilor au indicat că nu există nicio deplasare a spectrului difractat pentru soluțiile de acid ascorbic, acid citric, acid sulfuric și pentru cele două baze. În consecință, s-a demonstrat că senzori holografici înregistrați pe Bayfol nu pot fi utilizați ca senzori de pH.

Rezultatele experimentelor efectuate cu soluții de etanol și acid acetic au indicat că există o dependență între concentrația soluției și lungimea de undă difractată. Figura 4.16 prezintă deplasarea de lungime de undă pentru două soluții de acid acetic. În partea stângă a figurii a fost notată deplasare obținută pentru fiecare concentrație. Pentru soluția cu o

concentrație molară de 0.5 M deplasarea obținută a fost 3.61 nm, pe când cea pentru soluția de 0.7 M deplasarea a crescut la 4.7 nm.

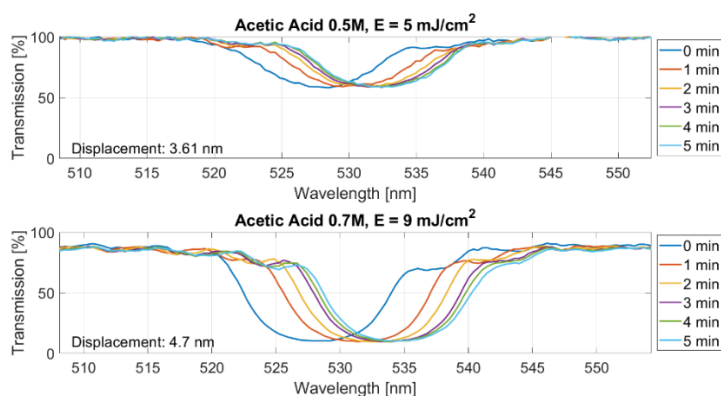


Figura 4.16 Rezultate experimentale pentru soluții de acetic cu concentrații de 0.5 M și 0.7 M<sup>1</sup> [73]

Figura 4.17 prezintă deplasarea de lungime de undă pentru două soluții de etanol cu concentrații de 50% (v/v), respectiv 80% (v/v). Comparând cele două imagini se poate observa că soluția de etanol cu concentrație mai mică produce o deplasare de lungime de undă mult mai mică (52.69 nm) decât cea cu concentrație de 50% (v/v) (58.69 nm).

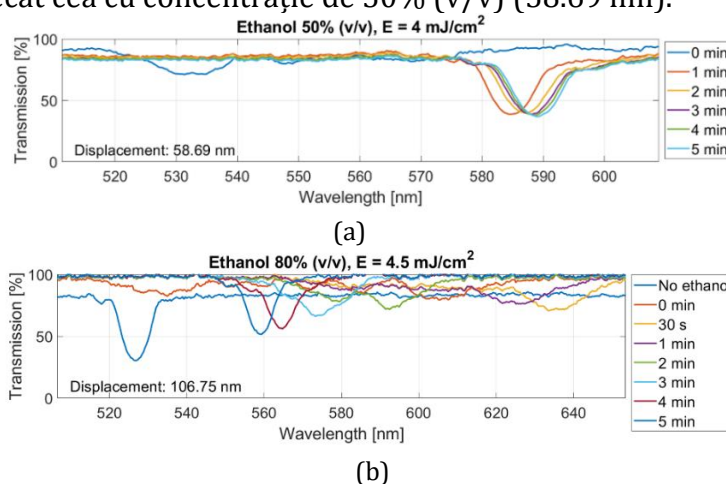


Figura 4.17 Rezultate experimentale pentru soluțiile de etanol cu concentrații de (a) 50% (v/v) și (b) 80% (v/v)<sup>1</sup> [73]

Rezultatele prezentate în Figura 4.16 indică o deplasare maximă a lungimii de undă după 5 minute de analiză pentru soluțiile de acid acetic. În cazul spectrelor de etanol, deplasarea maximă se înregistrează după 30 de secunde pentru concentrații mai mare de 70% (v/v). Spectrul unei concentrații de 70% (v/v) este evidențiată în Figura 4.17. După cele 30 de secunde deplasarea maximă începe să scadă, ajungând să fie aproximativ 28 nm la finalul celor 5 minute de analiză. Pentru concentrații mai mici, această scădere nu este vizibilă după cele 5 minute de analiză.

Analiza soluțiilor a fost continuată prin extinderea gamei de concentrații pentru acid acetic și etanol. Pentru etanol s-au utilizat concentrații între 0-100%, iar pentru acid acetic între 0.004 M și 5 M. S-a observat că pentru concentrații mai mici de 0.09 M deplasarea lungimii de undă prezintă fluctuații. În consecință, pentru determinarea funcțiilor de dependență dintre deplasarea lungimii de undă și concentrația soluției s-au folosit doar concentrații molare mai mari de 0.09 M.

Figura 4.18 (a) și (b) ilustrează funcțiile de aproximare a dependenței dintre deplasarea lungimii de undă și concentrația soluțiilor analizate. În cazul soluțiilor de acid acetic, cei doi

parametri depind unul de celălalt conform ecuației pătratice  $y = 0.3795x^2 + 6.517x + 2.692$ , în timp ce pentru probele de etanol (cu concentrații între 0-70% (v/v)) ecuația este  $y = 0.01014x^2 + 0.5881x + 0.3587$ .

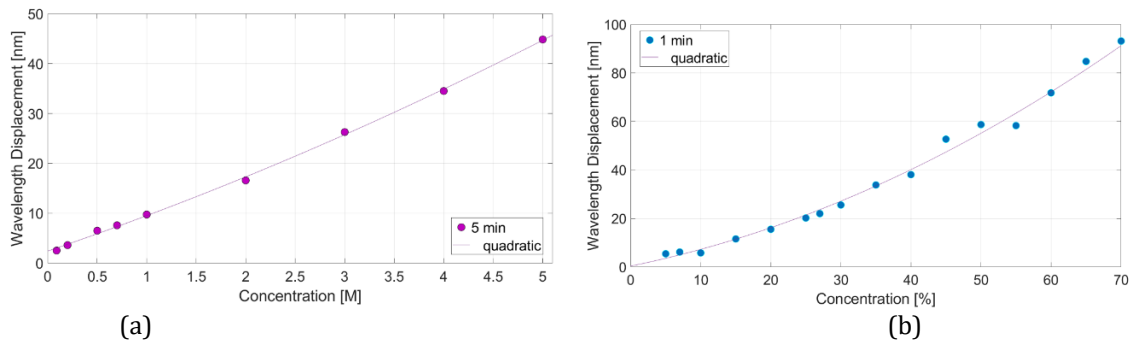


Figura 4.18 Funcția de aproximare a dependenței dintre concentrația soluției și deplasarea lungimii de undă a spectrului difractat (a) pentru acid acetic; (b) pentru etanol<sup>1</sup> [73]

În acest studiu s-a prezentat utilizarea senzorilor holografici înregistrați pe un fotopolimer comercial pentru detecția concentrației de acid acetic și etanol. În literatura de specialitate nu s-au regăsit senzori holografici pentru detecția acidului acetic. În funcție de metoda de detecție aleasă pentru detecția acidului acetic, timpii de răspuns pot varia între câteva secunde și câteva minute [76], [77]. Alți senzori holografici utilizați pentru detecția etanolului au avut timp de răspuns de 50 secunde pentru concentrații de 10% (v/v) [41], foarte asemănător cu timpul de răspuns al acestor senzori (1 min pentru concentrații de până la 70% (v/v)). Comparând performanțele acestor senzori cu a altor senzori holografici se poate spune că prezintă un răspuns rapid (alți senzori având timpi de răspuns de până la 20 de minute) [78]. Comparând performanțele senzorilor propuși cu cele prezentate în articolele de specialitate se poate spune că senzorii propuși sunt rapizi și au un timp de răspuns scurt.

## 5. Concluzii

Lucrarea de față a avut ca scop studiul unor senzori optici și a unor metode optice ce utilizează radiația luminoasă pentru analiza unor băuturi și aditivi alimentari. Metodele de analiză bazate pe utilizarea radiației luminoase pentru caracterizarea probelor sunt extrem de utilizate în momentul de față, fapt ce este confirmat de numărul mare de lucrări de specialitate publicate în ultimii ani: spectroscopie în domeniul UV [22], [44], [79], spectroscopie în infraroșu [59], [80], [81], spectroscopie de fluorescență [82]–[84], interferometrie [24], [85]–[88] și colorimetrie [89].

În prima etapă, **capitolul 1**, s-a realizat un studiu teoretic pentru înțelegerea modului de funcționare a metodelor de analiză și a senzorilor optici. Pentru a putea determina elementele unde pot fi aduse contribuții personale a fost realizat un studiu detaliat și au fost identificate în literatura de specialitate studii științifice ce utilizau fie senzori optici, fie metode optice de analiză [16], [82], [90], [91].

În **capitolul 2** s-a realizat o prezentare a metodelor de învățare automată și profundă. S-au descris pe scurt principalii algoritmi (kNN, SVM, arbori de decizie) și s-a prezentat arhitectura rețelelor neuronale artificiale și convoluționale [52], [53]. Totodată, s-a remarcat în literatura de specialitate, utilizarea acestor metode împreună cu metodele optice de analiză [58], [59].

**Capitolul 3** cuprinde o scurtă introducere în tematica tezei și subliniază principalele obiectivele ale tezei. **Capitolele 4-7** prezintă cele patru mari direcții de cercetare ce au fost

abordate pe durata stagiului de doctorat: analiza sucurilor și a laptelui utilizând montajul cu LED și senzorul AS7262; analiza aditivilor utilizând spectrometrie în ultraviolet și metode de învățare automată pentru clasificarea spectrelor; continuarea studiului aditivilor alimentari prin clasificarea spectrelor simple și mixte cu rețele neuronale; utilizarea senzorilor holografici înregistrați pe un fotopolimer comercial pentru determinarea concentrației de acid acetic și etanol. La finalul lucrării, în **capitolul 8**, sunt prezentate concluziile lucrării și contribuțiile personale.

## 6. Contribuții personale

- Studiul și testarea unor montaje experimentale cu dispozitive optice de cost redus.
- Utilizarea montajelor experimentale pentru analizarea unor probe de suc și lapte.
- Extragerea unor parametri spectrali din spectrele achiziționate pentru cinci aditivi alimentari (aspartam, zaharina, sorbat de potasiu, benzoat de sodiu, acesulfam potasiu)
- Clasificare spectrelor obținute pentru cei cinci aditivi (soluții simple) utilizând tehnici de învățare automată.
- Construirea unei baze de date ce cuprinde 193 spectre în domeniul ultraviolet pentru cinci aditivi alimentari (aspartam, acesulfam potasiu, zaharină, benzoat de sodiu și sorbat de potasiu).
- Construirea unei baze de date ce cuprinde 211 spectre în domeniul ultraviolet pentru amestecuri de doi aditivi alimentari (aspartam, acesulfam potasiu, zaharină, benzoat de sodiu și sorbat de potasiu).
- Studiul și testarea rețelelor neuronale artificiale cu un strat ascuns și cu două straturi ascunse pentru clasificarea spectrelor în domeniul ultraviolet.
- Studiul și testarea rețelelor neuronale convoluționale cu 1, 2 sau 3 straturi convoluționale urmate sau nu de straturi de subeșantionare pentru clasificarea spectrelor în domeniul ultraviolet
- Determinarea compușilor chimici ce determină modificări ale proprietăților optice în hologramele înregistrate pe un fotopolimer comercial.
- Testarea senzorilor holografici înregistrați pe fotopolimer comercial cu diverse baze și acizi pentru a determina dacă pot fi utilizați ca senzori de pH.
- Utilizarea unui fotopolimer comercial pentru realizarea unui senzor holografic pentru detecția concentrației de acid acetic (0.09 M și 5 M).
- Utilizarea unui fotopolimer comercial pentru realizarea unui senzor holografic pentru detecția concentrației de etanol (0-100% (v/v)).
- Obținerea unei corelații între răspunsul optic generat de senzorii holografici (înregistrați pe fotopolimerul comercial) și concentrația soluțiilor analizate.
- Obținerea unui senzor holografic (înregistrat pe fotopolimerul comercial) cu timp de răspuns rapid de 5 minute pentru probele de acid acetic și 1 minut (concentrații între 5% și 70% (v/v), respectiv 30 secunde (concentrații mai mari de 70% (v/v)) pentru etanol.

---

<sup>1</sup> Figurile se bazează pe rezultatele prezentate în: I-A. Potârniche, J. Marín-Sáez, M.-V. Collados, J. Atencia, "Holographic sensor based on Bayfol® commercial photopolymer for ethanol and acetic acid detection", care în momentul trimiterii acestui rezumat (September 2023) se afla în etapa de review la jurnalul "Optics and Laser Technology".

## 7. Bibliografie

- [1] K. W. Alt, A. Al-Ahmad, and J. P. Woelber, “Nutrition and Health in Human Evolution—Past to Present,” *Nutrients*, vol. 14, no. 17, p. 3594, Aug. 2022, doi: 10.3390/nu14173594.
- [2] O. Gulsia, “Vanillin: One Drug, Many Cures,” *Resonance*, vol. 25, no. 7, pp. 981–986, Jul. 2020, doi: 10.1007/s12045-020-1013-z.
- [3] S. A. A. Shafer, D. F. Mihailescu, and B. Amuzescu, “Aspartame Safety as a Food Sweetener and Related Health Hazards,” *Nutrients*, vol. 15, no. 16, p. 3627, Aug. 2023, doi: 10.3390/nu15163627.
- [4] “FAO & WHO Codex Alimentarius, ‘Class Names And The International Numbering System For Food Additives.’” [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXG%2B36-1989%252FCXG\\_036e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXG%2B36-1989%252FCXG_036e.pdf) (accessed Aug. 23, 2023).
- [5] “FAO & WHO Codex Alimentarius, ‘General Standard For Food Additives.’” [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS\\_192e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B192-1995%252FCXS_192e.pdf) (accessed Aug. 23, 2023).
- [6] I.-A. Potârniche, C. Saroși, R. M. Terebeș, L. Szolga, and R. Gălătuș, “Classification of Food Additives Using UV Spectroscopy and One-Dimensional Convolutional Neural Network,” *Sensors*, vol. 23, no. 17, p. 7517, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23177517.
- [7] “Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA).” <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/> (accessed Aug. 23, 2023).
- [8] Y.-C. Chen *et al.*, “Aspartame Consumption, Mitochondrial Disorder-Induced Impaired Ovarian Function, and Infertility Risk,” *Int J Mol Sci*, vol. 23, no. 21, p. 12740, Oct. 2022, doi: 10.3390/ijms232112740.
- [9] P. J. Landrigan and K. Straif, “Aspartame and cancer – new evidence for causation,” *Environmental Health*, vol. 20, no. 1, p. 42, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12940-021-00725-y.
- [10] C. Debras *et al.*, “Artificial sweeteners and cancer risk: Results from the NutriNet-Santé population-based cohort study,” *PLoS Med*, vol. 19, no. 3, p. e1003950, Mar. 2022, doi: 10.1371/journal.pmed.1003950.
- [11] H. Rodrigues, C. Silva, and F. Martel, “The effects of aspartame on the HTR8/SVneo extravillous trophoblast cell line,” *Reprod Biol*, vol. 22, no. 3, p. 100678, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.repbio.2022.100678.
- [12] C.-H. Lin, H.-Y. Li, S.-H. Wang, Y.-H. Chen, Y.-C. Chen, and H.-T. Wu, “Consumption of Non-Nutritive Sweetener, Acesulfame Potassium Exacerbates Atherosclerosis through Dysregulation of Lipid Metabolism in ApoE<sup>-/-</sup> Mice,” *Nutrients*, vol. 13, no. 11, p. 3984, Nov. 2021, doi: 10.3390/nu13113984.
- [13] A. Singh, K. Rourk, A. Bernier, and G. de Lartigue, “Non-Nutritive Sweetened Beverages Impair Therapeutic Benefits of Metformin in Prediabetic Diet-Induced Obese Mice,” *Nutrients*, vol. 15, no. 11, p. 2472, May 2023, doi: 10.3390/nu15112472.
- [14] M. Urbano, M. D. Luque de Castro, P. M. Pérez, J. García-Olmo, and M. A. Gómez-Nieto, “Ultraviolet–visible spectroscopy and pattern recognition methods for differentiation and classification of wines,” *Food Chem*, vol. 97, no. 1, pp. 166–175, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.05.001.
- [15] S. Hao *et al.*, “Authentication of acacia honey using fluorescence spectroscopy,” *Food Control*, vol. 130, p. 108327, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108327.
- [16] J. M. Pereira, L. M. Leme, M. R. F. G. Perdoncini, P. Valderrama, and P. H. Março, “Fast Discrimination of Milk Contaminated with Salmonella sp. Via Near-Infrared Spectroscopy,” *Food Anal Methods*, vol. 11, no. 7, pp. 1878–1885, Jul. 2018, doi: 10.1007/s12161-017-1090-0.

- [17] T. Desquins, F. Bousefsaf, A. Pruski, and C. Maaoui, "A Survey of Photoplethysmography and Imaging Photoplethysmography Quality Assessment Methods," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 19, p. 9582, Sep. 2022, doi: 10.3390/app12199582.
- [18] F. Massoumian, R. Juskaitis, M. A. A. Neil, and T. Wilson, "Quantitative polarized light microscopy," *J Microsc*, vol. 209, no. 1, pp. 13–22, Jan. 2003, doi: 10.1046/j.1365-2818.2003.01095.x.
- [19] A. Breitingner, E. Clua, and L. A. F. Fernandes, "An Augmented Reality Periscope for Submarines with Extended Visual Classification," *Sensors*, vol. 21, no. 22, p. 7624, Nov. 2021, doi: 10.3390/s21227624.
- [20] H. Zhang, H. Liu, W. Xu, and Z. Lu, "Large aperture diffractive optical telescope: A review," *Opt Laser Technol*, vol. 130, p. 106356, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.optlastec.2020.106356.
- [21] A. Philippidis *et al.*, "Application of Ultraviolet-Visible Absorption Spectroscopy with Machine Learning Techniques for the Classification of Cretan Wines," *Foods*, vol. 10, no. 1, p. 9, Dec. 2020, doi: 10.3390/foods10010009.
- [22] H. D. Xie, L. J. Bu, X. W. Peng, and Z. X. Li, "Ultraviolet Spectroscopy Method for Classifying Vinegars," *Adv Mat Res*, vol. 346, pp. 865–874, Sep. 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.346.865.
- [23] J. Sádecká and M. Jakubíková, "Classification of Tokaj Wines by Ultraviolet–Visible Spectroscopy," *Food Anal Methods*, vol. 15, no. 1, pp. 56–66, Jan. 2022, doi: 10.1007/s12161-021-02097-y.
- [24] H. A. Razak, N. H. Sulaiman, H. Haroon, and A. S. Mohd Zain, "A fiber optic sensor based on Mach-Zehnder interferometer structure for food composition detection," *Microw Opt Technol Lett*, vol. 60, no. 4, pp. 920–925, Apr. 2018, doi: 10.1002/mop.31072.
- [25] J. Park, "Optical Glucose Sensor Using Pressure Sensitive Paint," *Sensors*, vol. 21, no. 13, p. 4474, Jun. 2021, doi: 10.3390/s21134474.
- [26] B. Kaur, S. Kumar, and B. K. Kaushik, "Novel Wearable Optical Sensors for Vital Health Monitoring Systems—A Review," *Biosensors (Basel)*, vol. 13, no. 2, p. 181, Jan. 2023, doi: 10.3390/bios13020181.
- [27] W. Fan, K. A. Kam, H. Zhao, P. J. Culligan, and I. Kymissis, "An Optical Soil Sensor for NPK Nutrient Detection in Smart Cities," in *2022 18th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, IEEE, Jun. 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/IE54923.2022.9826759.
- [28] Y. Sun, G. I. N. Waterhouse, X. Qiao, J. Xiao, and Z. Xu, "Determination of chloramphenicol in food using nanomaterial-based electrochemical and optical sensors-A review," *Food Chem*, vol. 410, p. 135434, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2023.135434.
- [29] J. L. Santos and F. Farahi, *Handbook of optical sensors*. Crc Press, 2014.
- [30] D.-W. Sun, *Infrared spectroscopy for food quality analysis and control*. Academic press, 2009.
- [31] Y. Amakura, M. Okada, S. Tsuji, and Y. Tonogai, "High-performance liquid chromatographic determination with photodiode array detection of ellagic acid in fresh and processed fruits," *J Chromatogr A*, vol. 896, no. 1–2, pp. 87–93, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0021-9673(00)00414-3.
- [32] B. Guzowski and M. Łakomski, "Temperature Sensor Based on Periodically Tapered Optical Fibers," *Sensors*, vol. 21, no. 24, p. 8358, Dec. 2021, doi: 10.3390/s21248358.
- [33] E. Maurice, G. Monnom, B. Dussardier, A. Saïssy, D. B. Ostrowsky, and G. W. Baxter, "Erbium-doped silica fibers for intrinsic fiber-optic temperature sensors," *Appl Opt*, vol. 34, no. 34, p. 8019, Dec. 1995, doi: 10.1364/AO.34.008019.
- [34] J. Ascorbe, J. Corres, F. Arregui, and I. Matias, "Recent Developments in Fiber Optics Humidity Sensors," *Sensors*, vol. 17, no. 4, p. 893, Apr. 2017, doi: 10.3390/s17040893.
- [35] P. J. Thomas and J. O. Hellevang, "A high response polyimide fiber optic sensor for distributed humidity measurements," *Sens Actuators B Chem*, vol. 270, pp. 417–423, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.snb.2018.05.011.
- [36] K. P. W. Dissanayake, W. Wu, H. Nguyen, T. Sun, and K. T. V. Grattan, "Graphene-Oxide-Coated Long-Period Grating-Based Fiber Optic Sensor for Relative Humidity and External



- Refractive Index,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 36, no. 4, pp. 1145–1151, Feb. 2018, doi: 10.1109/JLT.2017.2756097.
- [37] A. J. Marshall, J. Blyth, C. A. B. Davidson, and C. R. Lowe, “pH-Sensitive Holographic Sensors,” *Anal Chem*, vol. 75, no. 17, pp. 4423–4431, Sep. 2003, doi: 10.1021/ac020730k.
- [38] K. Sharma, Heena, G. C. Mohanta, and R. Kumar, “Study of a pH-Sensitive Hologram for Biosensing Applications,” in *HMAM2*, Basel Switzerland: MDPI, Mar. 2023, p. 22. doi: 10.3390/HMAM2-14272.
- [39] S. Davies, Y. Hu, J. Blyth, N. Jiang, and A. K. Yetisen, “Reusable Dual-Photopolymerized Holographic Glucose Sensors,” *Adv Funct Mater*, vol. 33, no. 18, May 2023, doi: 10.1002/adfm.202214197.
- [40] G. Khalili Moghaddam, H. Margerison, J. Suzuki, J. Blyth, and C. R. Lowe, “A transparent glucose-sensitive double polymerised holographic sensor,” *Sens Actuators B Chem*, vol. 267, pp. 1–4, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.snb.2018.04.009.
- [41] A. K. Yetisen, I. Naydenova, F. da Cruz Vasconcellos, J. Blyth, and C. R. Lowe, “Holographic Sensors: Three-Dimensional Analyte-Sensitive Nanostructures and Their Applications,” *Chem Rev*, vol. 114, no. 20, pp. 10654–10696, Oct. 2014, doi: 10.1021/cr500116a.
- [42] S. Ahuja and M. Dong, *Handbook of pharmaceutical analysis by HPLC*. Elsevier, 2005.
- [43] L. H. Nurani *et al.*, “Chemometrics-Assisted UV-Vis Spectrophotometry for Quality Control of Pharmaceuticals: A Review,” *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 23, no. 2, p. 542, Mar. 2023, doi: 10.22146/ijc.74329.
- [44] J. Molina, A. Flores, A. Manzo Robledo, and J. M. Gutierrez, “Green and Black Tea Characterization By Electrochemical and UV-Vis Spectroscopy Techniques for Bioelectronic Applications,” *ECS Trans*, vol. 110, no. 1, pp. 1–5, Feb. 2023, doi: 10.1149/11001.0001ecst.
- [45] L.-M. Yuan *et al.*, “Consensual Regression of Soluble Solids Content in Peach by Near Infrared Spectroscopy,” *Foods*, vol. 11, no. 8, p. 1095, Apr. 2022, doi: 10.3390/foods11081095.
- [46] D. Shon, S. Park, S. Yoon, and Y. Ko, “Identification of Biochemical Differences in White and Brown Adipocytes Using FTIR Spectroscopy,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 6, p. 3071, Mar. 2022, doi: 10.3390/app12063071.
- [47] W. Miloua, M. Ortuño, V. Navarro-Fuster, A. Beléndez, and I. Pascual, “Adulterant Detection in Peppermint Oil by Means of Holographic Photopolymers Based on Composite Materials with Liquid Crystal,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 5, p. 1061, Mar. 2022, doi: 10.3390/polym14051061.
- [48] A. M. Mustafa *et al.*, “A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity,” *Food Chem*, vol. 367, p. 130743, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130743.
- [49] M. Grembecka, P. Baran, A. Błażewicz, Z. Fijałek, and P. Szefer, “Simultaneous determination of aspartame, acesulfame-K, saccharin, citric acid and sodium benzoate in various food products using HPLC–CAD–UV/DAD,” *European Food Research and Technology*, vol. 238, no. 3, pp. 357–365, Mar. 2014, doi: 10.1007/s00217-013-2111-x.
- [50] S. Taha, A. Al-Kharosi, W. Al-Sabari, F. AL-shidhani, and S. Alfarsi, “A Simple Method for Simultaneous Determination of Commonly used Artificial Food Colors and Preservatives in Soda, Jam, and Yogurt by HPLC-PDA,” *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*, vol. 7, no. 26, 2020, doi: 10.30744/brjac.2179-3425.AR-23-2019.
- [51] H. Tohma, İ. Gülçin, E. Bursal, A. C. Gören, S. H. Alwasel, and E. Köksal, “Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS,” *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 11, no. 2, pp. 556–566, Jun. 2017, doi: 10.1007/s11694-016-9423-z.
- [52] A. Zafar *et al.*, “A Comparison of Pooling Methods for Convolutional Neural Networks,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 17, p. 8643, Aug. 2022, doi: 10.3390/app12178643.



- [53] S. Cong and Y. Zhou, "A review of convolutional neural network architectures and their optimizations," *Artif Intell Rev*, vol. 56, no. 3, pp. 1905–1969, Mar. 2023, doi: 10.1007/s10462-022-10213-5.
- [54] Y. Yu, K. Adu, N. Tashi, P. Anokye, X. Wang, and M. A. Ayidzoe, "RMAF: Relu-Memristor-Like Activation Function for Deep Learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 72727–72741, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2987829.
- [55] S.-Y. Hwang and J.-J. Kim, "A Universal Activation Function for Deep Learning," *Computers, Materials & Continua*, vol. 75, no. 2, pp. 3553–3569, 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.037028.
- [56] H. Zhang, S. Wang, D. Li, Y. Zhang, J. Hu, and L. Wang, "Edible Gelatin Diagnosis Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Partial Least Square Assisted Support Vector Machine," *Sensors*, vol. 19, no. 19, p. 4225, Sep. 2019, doi: 10.3390/s19194225.
- [57] K. Przybył, K. Koszela, F. Adamski, K. Samborska, K. Walkowiak, and M. Polarczyk, "Deep and Machine Learning Using SEM, FTIR, and Texture Analysis to Detect Polysaccharide in Raspberry Powders," *Sensors*, vol. 21, no. 17, p. 5823, Aug. 2021, doi: 10.3390/s21175823.
- [58] P. Sun, J. Wang, and Z. Dong, "CNN–LSTM Neural Network for Identification of Pre-Cooked Pasta Products in Different Physical States Using Infrared Spectroscopy," *Sensors*, vol. 23, no. 10, p. 4815, May 2023, doi: 10.3390/s23104815.
- [59] Y. Hao, X. Li, C. Zhang, and Z. Lei, "Online Inspection of Browning in Yali Pears Using Visible-Near Infrared Spectroscopy and Interpretable Spectrogram-Based CNN Modeling," *Biosensors (Basel)*, vol. 13, no. 2, p. 203, Jan. 2023, doi: 10.3390/bios13020203.
- [60] T. Chen, L. Ma, Z. Tang, and L. X. Yu, "Identification of coumarin-based food additives using terahertz spectroscopy combined with manifold learning and improved support vector machine," *J Food Sci*, vol. 87, no. 3, pp. 1108–1118, Mar. 2022, doi: 10.1111/1750-3841.16064.
- [61] L. A. Szolga and T. R. Cilean, "Nitrates and Nitrites Detection System in the Drinking Water Using UV Absorption," in *2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/EHB50910.2020.9280233.
- [62] L. A. Szolga and F. Mudure, "Blood (RBC/HGB) Analysis Using Colorimetry," in *2020 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 1–4. doi: 10.1109/EHB50910.2020.9280195.
- [63] L. A. Szolga and T. R. Cilean, "Water Sterilization Using Power UV LEDs," in *2021 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, IEEE, Apr. 2021, pp. 49–53. doi: 10.1109/ICEEE52452.2021.9415965.
- [64] L. A. Szolga, "Humidity and Isopropyl Alcohol Detection Sensor Based on Plastic Optical Fiber," in *2021 25th International Conference Electronics*, IEEE, Jun. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/IEEECONF52705.2021.9467472.
- [65] "AMS, AS7262 6-Channel Visible Spectral\_ID Device with Electronic Shutter and Smart Interface, AS7262 Datasheet, [Revised March 2017]." Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: [https://www.mouser.com/datasheet/2/588/AS7262\\_DS000486\\_2-00-1082195.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/588/AS7262_DS000486_2-00-1082195.pdf)
- [66] "MulticompPRO, LED Pure White, 5mm, LED Datasheet, [Revised Aug. 2019]." Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/2861562.pdf>
- [67] I.-A. Potarniche and R.-V. Galatus, "Spectrometric Milk Analyzer," in *2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, IEEE, Oct. 2021, pp. 214–217. doi: 10.1109/SIITME53254.2021.9663432.
- [68] R. Irkin, S. Dogan, N. Degirmencioglu, M. Diken, and M. Guldas, "Phenolic content, antioxidant activities and stimulatory roles of citrus fruits on some lactic acid bacteria," *Arch Biol Sci*, vol. 67, no. 4, pp. 1313–1321, 2015, doi: 10.2298/ABS140909108I.
- [69] I. Potarniche, R. Galatus, and L. Szolga, "Fresh juice pH evaluation using colorimetry," in *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI*, M. Vladescu, I. Cristea, and R. D. Tamas, Eds., SPIE, Mar. 2023, p. 93. doi: 10.1117/12.2643291.
- [70] K. Shaikh, A. Waqas, U. A. Korai Baloch, B. Muneer, and A. Memon, "Cost-Effective Portable Photonic Sensor for Liquid Adulteration Detection," in *2022 IEEE 19th International*

*Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)*, IEEE, Dec. 2022, pp. 063–068. doi: 10.1109/HONET56683.2022.10019183.

- [71] “JASCO Inc., Specifications - JASCO Spectrophotometer.” Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://jascoinc.com/products/spectroscopy/uv-visible-nir-spectrophotometers/specifications/>
- [72] M. Wang *et al.*, “Simultaneous ultraviolet spectrophotometric determination of sodium benzoate and potassium sorbate by BP-neural network algorithm and partial least squares,” *Optik (Stuttg)*, vol. 201, p. 163529, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2019.163529.
- [73] Ioana-Adriana Potârniche, Julia Marín-Sáez, María-Victoria Collados, and Jesús Atencia, “Holographic sensor based on Bayfol HX200 commercial photopolymer for ethanol and acetic acid detection, Under Review, September 2023,” *Opt Laser Technol*.
- [74] “Covestro, Bayfol® HX200, Bayfol® HX200 Datasheet, [Revised March. 2018].” Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj3bel\\_ff\\_AhW1hf0HHZYQBjMQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fsolutions.covestro.com%2F-%2Fmedia%2Fcovestro%2Fsolution-center%2Fproducts%2Fdatasheets%2Fimported%2Fbayfol%2Fbayfol-hx200\\_en\\_86194384-20033146-20033738.pdf&usq=AOvVaw2YvCEj0\\_PlfKFODuDw9jMb&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj3bel_ff_AhW1hf0HHZYQBjMQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fsolutions.covestro.com%2F-%2Fmedia%2Fcovestro%2Fsolution-center%2Fproducts%2Fdatasheets%2Fimported%2Fbayfol%2Fbayfol-hx200_en_86194384-20033146-20033738.pdf&usq=AOvVaw2YvCEj0_PlfKFODuDw9jMb&opi=89978449)
- [75] F.-K. Bruder, T. Fäcke, and T. Rölle, “The Chemistry and Physics of Bayfol® HX Film Holographic Photopolymer,” *Polymers (Basel)*, vol. 9, no. 12, p. 472, Sep. 2017, doi: 10.3390/polym9100472.
- [76] L. Pont, J. Barbosa, and F. Benavente, “A rapid and simple method for the determination of organic acids in proteolytic enzymes by capillary electrophoresis with indirect ultraviolet detection,” *Microchemical Journal*, vol. 158, p. 105204, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.microc.2020.105204.
- [77] M. Ji, Y. Zhong, M. Li, R. Tan, Y. Hu, and G. Li, “Determination of acetic acid in enzymes based on the cataluminescence activity of graphene oxide-supported carbon nanotubes coated with NiMn layered double hydroxides,” *Microchimica Acta*, vol. 190, no. 6, p. 231, Jun. 2023, doi: 10.1007/s00604-023-05808-w.
- [78] S. Davies *et al.*, “Holographic Sensors in Biotechnology,” *Adv Funct Mater*, vol. 31, no. 47, Nov. 2021, doi: 10.1002/adfm.202105645.
- [79] F. Hajirasouliha, H. Omid, N. Jafary Omid, and F. Abedin Dorkoosh, “UV spectroscopy: A novel method for determination of degree of substitution of phthaloyl group as amine protector in chitosan,” *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 237, no. 6, pp. 663–673, Jun. 2023, doi: 10.1515/zpch-2021-3017.
- [80] R. Joshi *et al.*, “Deep Learning-Based Quantitative Assessment of Melamine and Cyanuric Acid in Pet Food Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy,” *Sensors*, vol. 23, no. 11, p. 5020, May 2023, doi: 10.3390/s23115020.
- [81] J. Liu, J. Zhang, Z. Tan, Q. Hou, and R. Liu, “Detecting the content of the bright blue pigment in cream based on deep learning and near-infrared spectroscopy,” *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, vol. 270, p. 120757, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.saa.2021.120757.
- [82] H. Bian *et al.*, “Application of fluorescence spectroscopy in classifying apple juice according to the variety,” *Optik (Stuttg)*, vol. 231, p. 166361, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijleo.2021.166361.
- [83] F. Venturini, S. Fluri, and M. Baumgartner, “Dataset of Fluorescence EEM and UV Spectroscopy Data of Olive Oils during Ageing,” *Data (Basel)*, vol. 8, no. 5, p. 81, Apr. 2023, doi: 10.3390/data8050081.
- [84] P. Viñas, C. López-Erroz, J. J. Marín-Hernández, and M. Hernández-Córdoba, “Determination of phenols in wines by liquid chromatography with photodiode array and fluorescence detection,” *J Chromatogr A*, vol. 871, no. 1–2, pp. 85–93, Feb. 2000, doi: 10.1016/S0021-9673(99)01087-0.

- [85] X. Sun, H. Du, X. Dong, Y. Hu, and J. Duan, "Simultaneous Curvature and Temperature Sensing Based on a Novel Mach-Zehnder Interferometer," *Photonic Sensors*, vol. 10, no. 2, pp. 171–180, Jun. 2020, doi: 10.1007/s13320-019-0551-z.
- [86] R. S. El Shamy, X. Li, M. M. ElRayany, A. Sultan, and M. A. Swillam, "On-Chip Loop-Terminated Mach-Zehnder Interferometer Gas Sensor," in *2022 Photonics North (PN)*, IEEE, May 2022, pp. 1–1. doi: 10.1109/PN56061.2022.9908408.
- [87] Y. Zhao *et al.*, "Ultrasensitive temperature sensor with Vernier-effect improved fiber Michelson interferometer," *Opt Express*, vol. 29, no. 2, p. 1090, Jan. 2021, doi: 10.1364/OE.415857.
- [88] P. Wang, K. Ni, B. Wang, Q. Ma, and W. Tian, "Methylcellulose coated humidity sensor based on Michelson interferometer with thin-core fiber," *Sens Actuators A Phys*, vol. 288, pp. 75–78, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.sna.2019.01.031.
- [89] H. Zhang, H. Yang, P. Liu, X. Qin, and G. Liu, "Colorimetric quantification of sodium benzoate in food by using d-amino acid oxidase and 2D metal organic framework nanosheets mediated cascade enzyme reactions," *Talanta*, vol. 237, p. 122906, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.talanta.2021.122906.
- [90] N. N. Bachok, N. Burham, A. R. Othman, N. H. Abd. Karim, A. A. bin Abu Bakar, and N. Arsad, "Ascorbic Acid Detection Using Spectrometer and Deuterium and Halogen Light Source," in *2022 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*, IEEE, Aug. 2022, pp. 81–84. doi: 10.1109/ICSE56004.2022.9863177.
- [91] Faragó, Gălătuș, Hintea, Boșca, Feurdean, and Ilea, "An Intra-Oral Optical Sensor for the Real-Time Identification and Assessment of Wine Intake," *Sensors*, vol. 19, no. 21, p. 4719, Oct. 2019, doi: 10.3390/s19214719.

## 8. Listă de publicații

Autorul a lucrat la 7 lucrări științifice pe perioada stagiului de doctorat care a început în octombrie 2019.

### Jurnale indexate ISI (WOS):

1. **Potărniche, I.-A.**; Saroși, C.; Terebeș, R.M.; Szolga, L.; Gălătuș, R. Classification of Food Additives Using UV Spectroscopy and One-Dimensional Convolutional Neural Network. *Sensors* 2023, 23, 7517. <https://doi.org/10.3390/s23177517>

În etapa de review:

2. **Ioana-Adriana Potărniche**, Julia Marín-Sáez, María-Victoria Collados, and Jesús Atencia, "Holographic sensor based on Bayfol HX200 commercial photopolymer for ethanol and acetic acid detection, Optics and Laser Technology.

### Conferințe indexate ISI (WOS):

3. **Potărniche, I. A.**, & Gălătuș, R. V. (2021, October). Spectrometric Milk Analyzer. In 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 214-217). IEEE. **WOS:**000786441900051; **DOI:** 10.1109/SIITME53254.2021.9663432.
4. Szolga, L. A., Heredea, P. C., & **Potarniche, I. A.** (2021, October). Low-Cost Peristaltic Pump for Laboratory Applications. In 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 322-325). IEEE. **WOS:**000786441900076; **DOI:** 10.1109/SIITME53254.2021.9663609.
5. Buzura, L., Budileanu, M. L., **Potarniche, A.**, & Galatus, R. (2021, October). Python based portable system for fast characterisation of foods based on spectral analysis. In 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 275-280). IEEE. **WOS:**000786441900066; **DOI:** 10.1109/SIITME53254.2021.9663677.

### Lucrări indexate Scopus (SPIE):

6. **Potărniche, I. A.**, Gălătuș, R., & Szolga, L. (2023, March). Fresh juice pH evaluation using colorimetry. In *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI* (Vol. 12493, pp. 227-231). SPIE. **DOI:** <https://doi.org/10.1117/12.2643291>

### Lucrări la simpozioane studentești și premii:

7. **Ioana-Adriana Potărniche**, Codruța Saroși, Romulus Terebeș, Ramona Gălătuș, Lorant Szolga. "Citric and ascorbic acid classification system", Novice Insights in Electronics and Telecommunications, Student Symposium on Electronics and Telecommunications UTCN, 2023, pp. 74-75, ISSN: 1842-6085.

Lucrarea a obținut locul II la secțiunea Master/Doctorat.

### Alte lucrări publicate anterior:

8. Groza, R., **Potărniche, I. A.**, Kirei, B. S., & Topa, M. D. (2018). Digitally controlled oscillator for all-digital frequency locked loops. *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 21(1), 3-17.
9. V. -I. -M. Chereja, **A. -I. Potărniche**, S. -A. Ranga, B. S. Kirei And M. D. Topa, "Power Dissipation Estimation of CMOS Digital Circuits at the Gate Level in VHDL," 2018 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), Timisoara, Romania, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISETC.2018.8583957.

### Simpozioane studentești:

10. **Ioana-Adriana Potărniche**, Robert Groza. "Environmental monitoring and control system", Novice Insights in Electronics and Telecommunications, Student Symposium on Electronics and Telecommunications UTCN, 2019, pp. 97-99, ISSN: 1842-6085, <https://etti.utcluj.ro/files/Acasa/Site/SSET/Brosura%20SSET-2019.pdf>