

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA
ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚE ALE NATURII

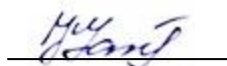
Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 004.42:004.6:581.1(043)

ION GANEA
MODELE, TEHNICI ȘI PRODUSE PROGRAM
DE ANALIZĂ INTELIGENTĂ A DATELOR
ÎN FIZIOLOGIA PLANTELOR

REZUMAT

121.03 Programarea calculatoarelor

Autor:



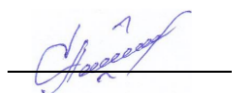
Ion Ganea

**Conducător
științific:**



Gheorghe Căpățână, doctor în științe
tehnice, profesor universitar.

Comisia de îndrumare:



Ana Bîrsan, doctor în biologie,
conferențiar universitar;



Valeriu Ungureanu, doctor în științe
fizico-matematice, conferențiar
universitar;

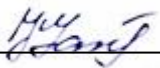


Maria Beldiga, doctor în informatică,
conferențiar universitar.

CHIȘINĂU, 2024

Teza a fost elaborată în cadrul Școlii Doctorale Științe ale Naturii, Universitatea de Stat din Moldova

Autor:



Ion GANEA

Conducător științific:



Gheorghe CĂPĂȚĂNĂ, doctor în științe tehnice,
profesor universitar

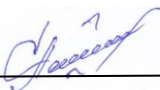
Comisia de doctorat:



Vsevolod ARNAUT, doctor în științe fizico-matematice,
conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova



Gheorghe CĂPĂȚĂNĂ, doctor în științe tehnice, profesor
universitar



Ana BÎRSAN, doctor în biologie, conferențiar universitar,
Universitatea de Stat din Moldova



Emil GUȚULEAC, doctor habilitat în științe tehnice,
profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei



Igor COJOCARU, doctor în informatică, Institutul de
Dezvoltare a Societății Informaționale

Susținerea va avea loc la 21.03.2024

Rezumatul și teza de doctorat pot fi consultate la Biblioteca Universității de Stat din Moldova și pe pagina web a ANACEC <https://cnaa.md>.

Rezumatul a fost expediat la 05.02.2024

Autor 
_____ **Ion GANEA**

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII	4
CONȚINUTUL TEZEI	9
BIBLIOGRAFIE	22
LISTA PUBLICAȚIILOR.....	29
ADNOTARE.....	31

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța temei

Actualmente, omenirea se confruntă cu probleme globale complexe ce pun în pericol dezvoltarea și existența sa. Aceste probleme necesită noi concepte pentru dezvoltarea economică durabilă, evaluând impactul asupra mediului. Schimbările climatice necesită culturi agricole adaptabile, sprijinite de cercetările trans-disciplinare și tehnologii inteligente, astfel încât protejarea naturii să coexiste cu dezvoltarea. Tehnologiile reprezintă metode esențiale pentru obținerea produselor și îndeplinirea cerințelor umane [1, 2]. Analiza inteligentă a datelor în domeniul fiziologiei plantelor reprezintă o zonă de cercetare în creștere care reprezintă o combinație între domeniul biologiei și cel al informaticii. Acest subiect îmbină cercetarea în domeniul științelor plantelor cu abordări moderne de analiză și prelucrare a datelor, utilizând tehnici și algoritmi de Inteligență Artificială (IA) și Învățare Automată (ML) pentru a extrage informații relevante despre homeostazia plantelor (procesul fiziologic prin care organismele mențin un mediu intern stabil (temperatura, pH-ul și nivelurile de nutrienți) în ciuda modificărilor externe, creșterea și dezvoltarea acestora și răspunsul lor la acțiunea factori nefavorabili.

Scopul tezei de doctorat este dezvoltarea și furnizarea de asistență cercetătorilor biologi pentru a facilita procesarea informației și identificarea rezultatelor semnificative obținute în cadrul cercetărilor biologice complexe pentru optimizarea procesului de descoperire a cunoștințelor relevante și de dobândire a înțelepciunii în biologie și agricultură.

Obiectivele de cercetare propuse sunt următoarele:

1. Dezvoltarea Bazei de Cunoștințe solide în domeniul „*Modelare integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor*” pentru elaborarea și integrarea modelelor și a produselor program aplicative.
2. Elaborarea Limbajului Formal complex pentru înțelegerea mai profundă a proceselor fiziologice ale plantelor.
3. Dezvoltarea Modelelor de Analiză Inteligentă a Datelor orientate pe familii de probleme în fiziologia plantelor pentru evaluarea eficienței utilizării unor compuși biologic activi asupra plantelor în context agricol.
4. Dezvoltarea Bazei de Date Nerelaționale (Neo4j) pentru stocarea eficientă a datelor în cercetările biologice și agricole și identificarea informațiilor esențiale în contextul

cercetărilor biologice pentru facilitarea procesului de selecție și interpretare a datelor relevante.

5. Dezvoltarea Modelelor Inteligente de Predicție a Fenomenelor Meteorologice și Biologice pentru predictibilitatea dezvoltării sustenabile și reziliente a agriculturii.
6. Integrarea Produselor într-un Depozit de Date Orientat pe Familie de Probleme pentru modelarea datelor în fiziologia plantelor și asigurarea facilității în luarea deciziilor informate în evaluarea interacțiunilor biologice complexe.
7. Implementarea paradigmei de dezvoltare a produselor pe familii de probleme, prin explorarea soluțiilor potențiale pentru extinderea rezultatelor în diverse domenii de cercetare, utilizând Tehnici de Transfer Learning.

Ipoteza de cercetare

Utilizarea integrată a analizei biostatistice, a bazelor de date graf și a algoritmilor de inteligență artificială în investigațiile asupra fiziologiei plantelor va conduce la descoperiri semnificative și la dezvoltarea unor instrumente inovatoare pentru evaluarea și interpretarea datelor complexe din domeniul studiat. Aceste instrumente vor consta în modele avansate de analiză biostatistică și într-un sistem eficient de gestionare a datelor, oferind astfel resurse solide pentru cercetarea ulterioară și pentru înțelegerea mai profundă a mecanismelor fiziologice ale plantelor.

Metodologia cercetării

În teză au fost utilizate metode și tehnici avansate pentru cercetări din domeniul fiziologiei plantelor și agriculturii, prin combinarea biostatisticii și depozitelor de date graf. Această abordare interdisciplinară a permis obținerea perspicacității valoroase, informații și cunoștințe relevante în domeniu.

Prin utilizarea biostatisticii, au fost aplicate o serie de analize și teste statistice riguroase pentru a investiga relațiile dintre diverse variabile din domeniul fiziologiei plantelor. Aceste metode au ajutat la identificarea de modele, corelații și diferențe semnificative în datele colectate, oferindu-ne înțelegerea profundă a fenomenelor studiate.

A fost elaborat un depozit de date bazat pe grafuri, utilizând SGBD Neo4j. În contextul cercetării din domeniul fiziologiei plantelor, această metodologie a permis obținerea unei perspective mai clare asupra mecanismelor care dirijează creșterea și dezvoltarea plantelor, precum și asupra interacțiunilor dintre plante și factorii de mediu din agricultură. Prin combinarea biostatisticii și depozitelor de date graf, s-a reușit evidențierea importanței și potențialul acestei

abordări holistice în dezvoltarea cunoștințelor în domeniul fiziologiei plantelor și agriculturii, deschizând noi direcții de cercetare și aplicând realizările în îmbunătățirea practicilor agricole și a sustenabilității mediului.

Noutatea și originalitatea științifică: Pentru domeniul de cercetare MIDDFP a fost dezvoltat un limbaj formal orientat pe familii de probleme, o bază de cunoștințe, modele de analiză biostatistică a datelor, un depozit de date, modele predictive referitoare la secetă și productivitatea unor culturi agricole. Depozitul de date permite totodată aplicarea modelului de analiză inteligentă a datelor și prezintă rezultatele prin grafuri intuitive, ușor de utilizat și de înțeles. Printr-o soluție inovativă bazată pe un depozit de date graf, se optimizează performanțele sistemelor biologice și agricole prin tehnologii avansate și analize biostatistice. Scopul este de a găsi soluții eficiente pentru provocările din agricultură, precum schimbările climatice, degradarea solurilor și producția sustenabilă. Analiza biostatistică ajută la identificarea corelațiilor între variabilele plantelor, facilitând selecția plantelor reziliente și adaptate la mediu.

Semnificația teoretică: Avansarea cunoașterii și înțelegerii în domeniul tehnologiilor inteligente aplicate în biologie și agricultură. Cercetările în domeniul tehnologiilor inteligente aplicate în biologie și agricultură constă în descoperirea de noi cunoștințe și înțelegerea mai profundă a interacțiunilor complexe dintre factorii biologici și mediul înconjurător. Prin intermediul cercetărilor, sunt identificate și validate modelele și mecanismele de acțiune ale tehnologiilor inteligente, în contextul biologiei și agriculturii.

Valoarea aplicativă a cercetărilor: Dezvoltarea soluțiilor concrete și inovatoare pentru optimizarea producției agricole, adaptarea la schimbările climatice și sporirea sustenabilității sistemelor agricole. Modelele predictive sunt cruciale în gestionarea riscurilor climatice și adaptarea agriculturii la schimbările climatice în agricultură și îmbunătățirea planificării producției și alocarea resurselor. Informațiile avansate și soluțiile tehnologice cresc productivitatea, reduc impactul asupra mediului și asigură securitatea alimentară pe termen lung. Soluțiile concrete și inovatoare dezvoltate în cercetare pot fi implementate efectiv în practicile agricole, generând beneficii economice și sociale pentru agricultori și comunități.

Rezultate științifice înaintate spre susținere:

1. A fost studiat domeniul de activitate „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” (abreviat MIDDFP).
2. A fost elaborat un limbaj formal al domeniului de activitate MIDDFP, orientat pe familii de probleme. Limbajul MIDDFP este de complexitate semnificativă. Aplicând tehnologiile

convenționale de programare, limbajul poate fi realizat în cadrul unui sistem de automatizare a programării dezvoltat de către un colectiv de informaticieni.

3. Utilizarea instrumentelor de inteligență artificială, a bazelor de date non-relaționale și a metodologiei rezolvării problemelor orientate pe familii de probleme a permis realizarea limbajului formal pentru implementarea ipotezei de cercetare.
4. Au fost dezvoltate *modele generice (abstracte) și modele specifice orientate pe familii de probleme*;
5. Au fost elaborate 9 modele de analiză biostatistică a influenței unor substanțe biologice active asupra creșterii și dezvoltării unor fenotipuri de soia (*Glycine max* (L.) Merrill.);
6. A fost elaborat un depozit de date graf pentru stocarea și procesarea unor cantități mari de date.
7. Au fost elaborate 2 modele predictive referitoare la probabilitatea secetei și productivitatea culturilor agricole.

Aprobarea rezultatelor tezei:

Rezultatele obținute în urma cercetării au fost prezentate și discutate la 11 conferințe naționale și internaționale:

1. European Exhibition of Creativity and Innovation „EuroInvent”, 15-th edition. 16 -18 Mai 2023, Iași, România. **Diplomă de excelență.**
2. International Exhibition „Inventcor” 2022, 15-17 decembrie 2022, Deva, Romania. **Medalie de aur.**
3. International Exhibition „Inventcor” 2022, 16-18 decembrie 2021, Deva, Romania. **Medalie de aur.**
4. International Exhibition of Inventions and Innovations „Traian Vuia” 2022, 8-10 decembrie 2022, Timișoara, Romania. **Medalie de bronz.**
5. European Exhibition of Creativity and Innovation „EuroInvent”, 14th edition. 26 -28 Mai 2022, Iași, România. **Medalie de argint.**
6. Conferința națională cu participare internațională „Integrare prin Cercetare și Inovare” 10 – 11 .11.2022, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.
7. The International Student Innovation and Scientific Research Exhibition Cadet INOVA’22 Academia Forțelor Terestre Nicolae Bălcescu, 7 - 9 aprilie 2022, Sibiu, România.
8. International Students' Conference StudMath-IT 2021 „Aurel Vlaicu” University of Arad, Faculty of Exact Science Arad, Romania, November 18-19, 2021.
9. International Virtual Conference „Mathematics & IT: Research and Education (MITRE-2021), July 01-03, 2021, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.

10. Conferința științifică națională a doctoranzilor dedicată aniversării a 75 de ani ai USM „Metodologii contemporane de cercetare și evaluare”, 22-23 aprilie 2021, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.
11. International Students' Conference StudMath-IT 2020 „Aurel Vlaicu” University of Arad, Faculty of Exact Science Arad, Romania, November 26-27, 2020.

Implementarea rezultatelor științifice:

Modelele elaborate au fost premiate cu:

- Două medalii de aur la Salonul Internațional al Inovării și Cercetării Științifice Deva în anii 2021 și 2022.
- Medalia de argint și Diploma de Excelență la Salonul Internațional „EuroInvent”, Iași 2022, 2023.
- Medalia de bronz la Salonul Internațional de Invenții și Inovații „Traian Vuia” 2022.
- La AGEPI au fost înregistrate drepturile de autor asupra lucrărilor „Model de analiză statistică a datelor privind conținutul de azot și fosfor în boabele de soia” (Seria 0, Nr. 7091 din 08.12.2021) (anexa 8) și „Model de predicție a productivității unor culturi agricole” (Seria 0Ș, Nr. 7552 din 21.06.2023).

CONȚINUTUL TEZEI

Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii și recomandări finale, bibliografie, 32 anexe. Conținutul tezei include 134 de pagini, 37 figuri și 17 tabele.

În **Introducere** este prezentată actualitatea și importanța temei. A fost identificat scopul tezei de doctorat, obiectivele cercetării, metodologiile de cercetare, rezultatele științifice obținute și valoarea lor aplicativă.

Capitolul I „Procesarea inteligentă a datelor în biologie și agricultură” reflectă stadiul actual al cunoștințelor și cercetărilor holistice din domeniul implementării tehnologiilor inteligente în biologie și agricultură. Au fost analizate conceptele fundamentale din domeniul tehnologiilor inteligente cum ar fi noțiunile de date, informație, cunoștințe, cunoaștere, perspicacitate, înțelepciune. Conceptele de Inteligență Artificială și componentele sale Învățare Automată (ML - Machine Learning), Învățare Profundă (DL - Deep Learning), Învățare prin Transfer (TL - Transfer Learning). Au fost analizate studiile și experimentele relevante care au fost realizate pentru a explora potențialul acestor tehnologii în îmbunătățirea performanțelor și sustenabilității sistemelor biologice și agricole. De asemenea, au fost determinate avantajele și beneficiile aduse de tehnologiile inteligente în diferite aspecte ale biologiei și agriculturii, cum ar fi optimizarea proceselor de producție, monitorizarea și gestionarea eficientă a resurselor, precum și anticiparea și prevenirea unor probleme specifice.

Factori globali precum schimbările climatice, modificările demografice și problemele securității alimentare determină cercetătorii și producătorii agricoli să caute noi abordări inovatoare pentru dezvoltarea culturilor agricole și sporirea randamentului acestora. Cele mai recente progrese în tehnologia și practicile agricole sunt descrise în literatura de specialitate prin termenii de *Agricultura 4.0* (Agricultura de Precizie) și *Agricultura 5.0* (*Agricultură Regenerativă* sau *Agricultura Inteligentă*), aceasta dezvoltă agricultura de precizie prin introducerea roboticii și a *Inteligenței Artificiale (IA)* [3]. Scopul final este de a crea un sistem durabil și regenerativ care să aducă beneficii atât fermierilor, cât și mediului. Această abordare progresivă implică utilizarea *Big Data*, *Inteligenței Artificiale* și a altor discipline ale științei informației cu Tehnologiile Inteligente, cum ar fi inteligența artificială, învățarea automată și roboții autonomi, aduc cu sine o serie de avantaje, printre care: *eficiență crescută, luarea deciziilor bazate pe date, automatizare și autonomie* [4].

Studii recente examinează provocările și limitările asociate utilizării învățării automate (ML) și învățării profunde (DL) în identificarea bolilor plantelor, inclusiv problemele legate de disponibilitatea datelor, calitatea imaginilor și distincția între plantele sănătoase și cele bolnave

[4]. Acestea oferă perspective valoroase cercetătorilor, practicienilor și profesioniștilor din industrie cu privire la detectarea bolilor plantelor, prezentând soluții pentru aceste provocări și limitări, și furnizând o înțelegere cuprinzătoare a stadiului actual al cercetărilor în acest domeniu [5,6]. De asemenea, se evidențiază beneficiile și limitările metodelor ML și DL și se propun soluții potențiale pentru depășirea provocărilor implementării lor [7, 8].

Procesarea Inteligentă a Datelor (PID) are ca obiect de studiu interacțiunile complexe în cadrul sistemelor biologice, folosind o abordare holistică pentru a prezice modul în care aceste sisteme evoluează și se adaptează la diverse condiții economice [9,10], sociale și de mediu [11-12] pentru dezvoltarea de soluții durabile la problemele globale cum ar fi alimentația, sănătatea și mediul [13-15]. Pentru rezolvarea problemelor din domeniul de cercetare și a înțelege în profunzime lucrurile este necesară studierea globală a componentelor unui sistem biologic la nivel molecular și informațional [16, 17]. Aceste discipline poartă denumirea generică de *omice (omics)*.

Cercetările omics și cercetările holistice se completează reciproc, deoarece cele omics oferă date și informații la scară largă despre componentele biologice, în timp ce cercetările holistice integrează aceste date pentru a obține o înțelegere mai completă a sistemelor biologice [18-19].

În scopul dezvoltării de modele predictive sau analize de înaltă precizie orientate pe familii de probleme în domeniul fiziologiei plantelor pe baza datelor disponibile pot fi aplicate și tehnici de Învățare prin Transfer (eng. *Transfer Learning (TL)*) [20]. În această context, TL poate ajuta la adaptarea modelelor sau a cunoștințelor pre-învățate într-un domeniu sau specie specifică de plante pentru a îmbunătăți înțelegerea sau predicția fenomenelor legate de creșterea, dezvoltarea și starea plantelor [21, 22]: *predicția stării de sănătate a plantelor, predicția randamentului culturilor, optimizarea utilizării resurselor de apă și nutrienți, analiza datelor transcriptomice și proteomice, monitorizarea schimbărilor climatice și adaptarea la noi medii sau variații de mediu [23 - 25].*

În ultimii ani, au fost realizate numeroase cercetări în domeniul procesării inteligente a datelor în domeniul fiziologiei plantelor. Aceste cercetări se concentrează asupra utilizării tehnologiilor de Învățare Automată și a învățării profunde în domeniul agriculturii și al fenotipării plantelor. Au fost analizate diverse aspecte legate de monitorizarea, diagnosticarea și analiza plantelor și a culturilor agricole folosind tehnici de procesare a datelor și modele de Învățare Automată [26, 27]. Lucrările acoperă diferite aspecte ale fenotipării plantelor, cum ar fi identificarea diferitor trăsături caracteristice, extragerea și clasificarea imaginilor, utilizarea viziunii stereo multi-vizuale pentru obținerea de reprezentări tridimensionale ale plantelor, analiza creșterii și dezvoltării plantelor prin viziune artificială bazată pe învățarea profundă și predicția randamentului culturilor agricole [26-32].

Analiza literaturii existente demonstrează că procesarea inteligentă a datelor și depozitele de date sunt tehnologii importante în domeniul fiziologiei plantelor. Acestea pot fi utilizate cu succes pentru a colecta, analiza și interpreta datele în timp real, ceea ce poate ajuta la îmbunătățirea randamentului culturilor, reducerea costurilor și impactului asupra mediului și la optimizarea utilizării resurselor.

Capitolul II „Integrarea metodelor biostatisticii și a depozitelor de date în procesarea datelor din domeniul fiziologiei plantelor” conține descrierea metodelor de cercetare și a resurselor utilizate, precum și a abordărilor metodologice aplicate în cercetare. Acest capitol descrie limbajul formal modelele generice și specifice create pentru procesarea datelor. Dezvoltarea bazei de cunoștințe reprezintă un pas esențial pentru a obține informații relevante și consistente pentru analizele biostatistice a datelor de fiziologie a plantelor și depozitele de date graf.

Pentru a realiza obiectivele trasate și a lua deciziile care se impun, a fost elaborat un sistem de procesare inteligentă a informației bazat pe *familii de probleme* (FP) [34]. Modelarea și programarea pe familii de probleme este o nouă paradigmă de dezvoltare a produselor program. Această paradigmă are avantajul de a standardiza arhitectura și tehnologia de proiectare, condițiile de exploatare și sporirea productivității elaborării sistemelor informaționale.

A fost dezvoltat un limbaj formal pentru domeniul de cercetare „**Modelarea Integrată a Datelor din Domeniul Fiziologiei Plantelor**” (MIDDFP) , reflectând complexitatea proceselor biologice din funcționarea plantelor. Limbajul standardizează termenii și conceptele în modelarea datelor legate în domeniul fiziologiei plantelor, facilitând comunicarea și colaborarea între cercetători. Include și reguli matematice pentru reprezentarea proceselor, permițând simulări și prezicerea comportamentului plantelor în diverse condiții.

Modelarea datelor din domeniul fiziologiei plantelor prin utilizarea unui limbaj formal are o importanță și relevanță semnificativă în înțelegerea proceselor complexe care guvernează dezvoltarea, creșterea și răspunsurile plantelor la diverși stimuli. Aceste aspecte sunt esențiale pentru cercetători, biologi, agronomi și alte persoane implicate în studiul plantelor și a mediului înconjurător. Modelarea datelor în acest domeniu are o serie de avantaje, printre care:

- *Precizie în înțelegerea proceselor fiziologice*: Modelele de date formale permit cercetătorilor să reprezinte procesele fiziologice complexe ale plantelor într-o manieră logică și structurată, oferind oportunități de înțelegere mai profundă a interacțiunilor dintre diferitele componente și procese ale plantelor.

- *Previțiuni și simulări*: Prin modelarea datelor, se pot crea simulări virtuale ale plantelor și a mediului lor de creștere, ce permit testarea diferitelor ipoteze și scenarii fără a efectua experimente costisitoare în realitate și predicția reacției diferitor genotipuri la acțiunea diferitor factori endogeni și exogeni, precum schimbări climatice sau utilizarea diferitelor tipuri de nutrienți.
- *Modelarea datelor* ajută la înțelegerea modului în care plantele răspund la diferite stresuri, cum ar fi seceta, boală sau infestările cu dăunători. Pot fi dezvoltate strategii mai eficiente pentru combaterea acestor probleme și protejarea recoltelor.

Limbajul elaborat poate servi drept bază pentru software specializat în simularea proceselor fiziologie din plante, ajutând la testarea ipotezelor și prognozarea răspunsurilor plantelor în scenarii diverse, cu implicații în agricultură și domeniile conexe. Continuând cercetarea, limbajul formal poate evolua, reflectând noile descoperiri. Prin colaborare interdisciplinară, acest limbaj poate adânci înțelegerea interacțiunilor plantelor cu mediu.

Aplicația Orientată pe Familii de Probleme (OFP) reprezintă o aplicație generică (abstractă) în raport cu aplicațiile A_1, A_2, \dots, A_n , iar aplicațiile A_1, A_2, \dots, A_n reprezintă n aplicații specifice în raport cu aplicația generică A .

În cazul, când mulțimea problemelor P_1, P_2, \dots, P_n poate fi privită ca o familie de probleme, poate fi elaborată o singură aplicație A , care realizează pe calculator familia de probleme.

Domeniul de cercetare „*Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor*” (abreviat *MIDDFP*) integrează o gamă de tipuri de entități.

Limbajul formal *MIDDFP*, care descrie soluțiile unor probleme din aceste domeniu de cercetare, solicitate de cercetători științifici specializați în biologia plantelor și de către agricultori, este următorul:

<limbajul *MIDDFP*> ::= <entitate studiată> | <relație între tipuri de entități > | <definire noduri și relațiile dintre noduri> | <relație între noduri> > | <familia de probleme *MIDDFP*>

<entitate studiată> ::= <proprietățile obiectelor studiate> | <tipuri de soluri> | <fermă> | <zonă geografică> | <resursă de apă> | <umiditatea solului> | <cantitatea de precipitații> | <temperatura aerului> | <coeficient hidrotermic> | <viteza vântului > | <prognoză meteorologică> | <producător> | <pesticide și îngrășăminte> | <cercetători și instituția de cercetare> | <echipament agricol> | <vânzare și tranzacție>

<relație între tipuri de entități> ::= <relație între culturi și ferme> | <relație între culturi și tipuri de soluri> | <relație între ferme și culturi> | <relație între ferme și resurse de

apă> | <relație între ferme și zone geografice> | <relație între ferme și resurse de apă> | <relație între zone geografice și resurse de apă> | <relație între zone geografice și cantitatea de precipitații> | <relație între zone geografice și temperatura aerului> | <relație între zone geografice și viteza vântului> | <relație între culturi și pesticide/îngrășăminte> | <relație între soiuri și calitatea recoltei> | <relație între ferme și producători de produse pentru plante> | <relație între culturi și cercetători/instituții de cercetare> | <relație între ferme și echipamente agricole> | <relație între ferme și vânzări/tranzacții> | <relație între culturi și prognoze meteorologice>

Pentru a atinge obiectivele propuse, a fost dezvoltată o infrastructură de cunoștințe pentru a fi utilizată într-un depozit de date. Acest proces implică integrarea metodelor biostatistice într-un cadru teoretic și practic coerent, adaptat în mod specific nevoilor și caracteristicilor domeniului fiziologiei plantelor. Depozitul de date va fi utilizat pentru stocarea și partajarea informațiilor experimentale în domeniul fiziologiei plantelor.

Depozite de date graf:

- *Reprezentarea datelor sub formă de graf:* Utilizarea graficelor pentru a reprezenta datele poate facilita înțelegerea rapidă a modelelor și tendințelor. Exemple includ histograma, graficele de dispersie, diagramele de bare etc.
- *Rețele și grafuri de interacțiuni:* Pot fi folosite pentru a reprezenta interacțiunile dintre diferite elemente ale sistemului de plante, cum ar fi relațiile de polenizare sau de competiție între specii.
- Utilizarea depozitelor de date graf în domeniul fiziologiei plantelor este o direcție de cercetare relativ nouă, dar care prezintă deja rezultate promițătoare.

Combinarea metodelor biostatistice cu depozitele de date graf în procesarea inteligentă a datelor în fiziologia plantelor aduce numeroase beneficii în înțelegerea și optimizarea creșterii plantelor. Această abordare integrată poate fi folosită pentru a analiza datele obținute din diferite experimente și observații asupra plantelor, facilitând identificarea de modele și tendințe relevante. Aceste două componente pot fi integrate prin:

- *Analiza descriptivă a datelor:* Aceasta implică calcularea măsurilor de tendință centrală, deviației standard, medianei, etc., pentru a obține o înțelegere inițială a distribuției datelor.
- *Testarea ipotezelor statistice:* Se pot aplica teste statistice pentru a determina dacă există diferențe semnificative între grupurile de plante sau variabilele studiate.
- *Regresia și analiza corelației:* Aceste metode pot ajuta la identificarea relațiilor dintre diferite variabile, cum ar fi influența factorilor de mediu asupra performanței plantelor.

Integrarea biostatisticii cu depozitele de date graf:

- Vizualizarea rezultatelor statisticilor: Rezultatele analizelor statistice pot fi reprezentate în mod vizual prin intermediul graficelor. De exemplu, se pot folosi boxplot-uri pentru a evidenția diferențele între grupuri.
- Analiza spațială a datelor: Utilizarea metodelor biostatistice pentru a analiza datele spațiale privind distribuția plantelor, iar apoi reprezentarea acestora printr-un depozit de date graf poate evidenția modelele geospațiale și interacțiunile dintre plante.

Învățare Automată și Inteligență Artificială: Integrarea biostatisticii cu algoritmi de Învățare Automată ajută la identificarea de pattern-uri complexe și relații non-lineare în datele fiziologiei plantelor.

Optimizarea proceselor de creștere a plantelor: Utilizarea acestui ansamblu de metode poate facilita luarea deciziilor informate pentru îmbunătățirea condițiilor de creștere a plantelor, precum optimizarea cantității de apă, a nivelurilor de nutrienți, a luminii, etc.

Prin combinarea metodelor biostatistice cu depozitele de date graf, se poate obține o înțelegere mai profundă și detaliată a fiziologiei plantelor și a factorilor care le influențează dezvoltarea și performanța. Acest lucru conduce la îmbunătățirea practicilor agricole și la dezvoltarea de strategii mai eficiente pentru gestionarea culturilor.

Un aspect important abordat în teză se referă la modelarea datelor experimentale, explicând cum se colectează, prelucrează și interpretează datele pentru a extrage informații semnificative cu referire la variația unor parametri morfofiziologici și biochimici ai plantelor, dar și despre derularea unor procese fiziologice din sistemele vegetale, în corelație cu mediul de viață. Acest proces este fundamental pentru înțelegerea mai aprofundată a fenomenelor fiziologice și pentru fundamentarea deciziilor în agricultură. De asemenea, teza se concentrează pe utilizarea depozitelor de date graf în agricultură, evidențiind aspectele generale ale dezvoltării depozitului de date și rolul său în gestionarea datelor specifice domeniului agricol.

Pentru elaborarea modelelor biostatistice concrete, este esențial să se stabilească o structură de bază, reprezentată de un model generic, care să ofere coerență și consistență în gestionarea informațiilor biostatistice. Această necesitate derivă din complexitatea și diversitatea seturilor de date biologice.

Elementele cheie ale modelului includ:

Declararea Variabilelor: Element principal care furnizează o listă de variabile care urmează a fi analizate în cadrul modelului de analiză biostatistică. Aceste variabile includ:

<**LRad**>: Variabilă asociată cu parametrul lungimea rădăcinii.

<*LTulp*>: Variabilă asociată cu parametrul lungimea tulpinii.

<*VolRad*>: Variabilă asociată cu parametrul volumul radial.

<*BmPRad*>: Variabilă asociată cu parametrul biomasa proaspătă a rădăcinii.

<*BmURad*>: Variabilă asociată cu parametrul biomasa uscată a rădăcinii.

<*BmPTulp*>: Variabilă asociată cu parametrul biomasa proaspătă a tulpinii.

<*BmUTulp*>: Variabilă asociată cu parametrul biomasa uscată a tulpinii.

Aceste variabile pot reprezenta diverse măsurători biologice sau caracteristici ale datelor biostatistice și oferă fundația pentru analiza ulterioară.

Determinarea Variației Datelor pe Eșantion: Element principal care definește contextul general al informațiilor, indicând că structura se concentrează pe analiza variației datelor într-un eșantion specific.

Sub-elemente:

- ***Media Eșantion:*** Reține valoarea medie a datelor din eșantion.
- ***Eroare Standard:*** Furnizează informații despre eroarea standard asociată datelor din eșantion.
- ***Dispersie:*** Reflectă măsura dispersiei datelor în eșantion.
- ***Abatere Standard:*** Indică valoarea abaterii standard a datelor.
- ***Coefficient de Variație:*** Oferă o măsură a variabilității relative a datelor în raport cu media.
- ***Interval de Încredere:*** Specifică intervalul în care se estimează că se află valoarea medie a populației cu un anumit nivel de încredere.
- ***Valorile Nule:*** În modelul prezentat, valorile pentru fiecare sub-element sunt lăsate nule sau goale, sugerând că acestea sunt locuri în care pot fi populate cu date specifice în cadrul unui model specific.

Aceste sub-elemente furnizează informații esențiale pentru înțelegerea distribuției datelor și a caracteristicilor lor statistice asociate.

Determinarea Influenței Factorilor Aplicați: element principal aduce în prim-plan evaluarea influenței factorilor aplicați și include următoarele sub-elemente:

- <***Diferența Mediei Eșantioanelor***>: Reprezintă diferența între mediile a două eșantioane.

- **<EroareaDiferențelor>**: Furnizează informații despre eroarea asociată diferențelor între eșantioane.
- **<Testul_t>**: Indică rezultatul testului *t* (*Student*), care este folosit pentru a evalua semnificația diferențelor dintre medii.
- **<LSD_0.05>**: Reprezintă valoarea pragului pentru diferențele semnificative la un nivel de încredere de 95%.
- **<LSD_0.01>**: Reprezintă valoarea pragului pentru diferențele semnificative la un nivel de încredere de 99%.

Aceste sub-elemente sunt utile în evaluarea impactului factorilor asupra datelor și determinarea semnificației diferențelor observate.

Confirmarea Respingerii Ipotezei Nule: element principal care furnizează informații pentru confirmarea respingerii ipotezei nule și include sub-elementul

<TestulP> cu formula specificată

<Formula>StudentTPValue[t, df]</Formula>.

Elementul poate fi utilizat pentru calcularea valorii P și evaluarea semnificației statistice a rezultatelor. Acest sub-element oferă un cadru pentru evaluarea validității rezultatelor și a respingerii sau acceptării ipotezei nule în contextul analizei biostatistice.

Modelul XML oferă o structură flexibilă și ușor de extins pentru a adapta informațiile biostatistice în funcție de nevoile specifice ale analizei sau setului de date. Este un instrument util pentru organizarea și schimbul de informații statistice într-un mod standardizat.

Pentru realizarea obiectivelor cercetării au fost elaborate 9 modele de analiză biostatistică a datelor obținute experimental în cadrul cercetărilor desfășurate în cadrul Departamentului Biologie și Ecologie a Universității de Stat din Moldova. Aceste modele sunt realizate în *Wolfram Mathematica*, dezvoltată de *Wolfram Research*, este un sistem avansat de calcul simbolic și numeric, furnizând o platformă integrată pentru dezvoltarea aplicațiilor matematice. În teză sunt expuse modalități de analiză a datelor din domeniul fiziologiei plantelor cultivate pe diferite medii nutritive și suplinite cu preparate care au ca scop sporirea calității și productivității plantelor de soia și adaptarea la diverse condiții de mediu pentru fiecare genotip studiat, de asemenea analiza influenței biostimulatorilor asupra plantelor și rezultatul obținut.

Combinarea metodelor biostatistice cu utilizarea depozitelor de date sub formă de graf în cercetări de fiziologie a plantelor aduce multiple beneficii pentru înțelegerea proceselor fiziologice

complexe și pentru optimizarea performanței și adaptării plantelor la factorii de mediu variabili. Utilizarea metodelor biostatistice, oferă posibilitatea de analiză a datelor experimentale și observaționale pentru a identifica modele și relații între variabilele ce țin de domeniul fiziologiei plantelor și domeniile conexe.

Depozitele de date graf oferă un cadru pentru organizarea și analizarea relațiilor complexe între diferitele entități și variabile. Prin reprezentarea datelor sub formă de graf, interconexiunile dintre componente devin mai vizibile. Prin intermediul algoritmilor graf sunt dezvăluite dependențele și interacțiunile complexe care influențează performanța plantelor. Prin analiza datelor și algoritmi de inteligență artificială, modele predictive pot anticipa răspunsul plantelor la stimuli și medii diferite.

În cadrul procesului de analiză a datelor, adesea ne confruntăm cu problema disponibilității unui set de date redus, care nu furnizează suficiente informații pentru obținerea unui rezultat precis. Seturile de date mici pot avea un impact semnificativ asupra preciziei predicțiilor privind seceta sau productivitatea plantelor. Deoarece volumul de date este limitat, devine crucial să se trateze această problemă cu atenție și să se utilizeze tehnici și modele adecvate pentru a obține rezultate relevante [22-25]. În ciuda tuturor eforturilor depuse, este notabil faptul că, în cazul seturilor de date de dimensiuni reduse, previziunile pot manifesta o incertitudine mai accentuată. Este imperativ să se evidențieze asupra acestui nivel de incertitudine în procesul de interpretare a rezultatelor obținute și să se extindă, pe cât posibil, dimensiunea setului de date în scopul reducerii acestei incertitudini.

Printre aspectele importante de avut în vedere este utilizarea tehnicilor de *Învățare prin Transfer (Transfer Learning - TL)*. Tehnicile TL pot fi o abordare valoroasă atunci când datele sunt limitate. Se pot utiliza modele pre-antrenate și să se ajusteze pentru a se potrivi noilor date, ceea ce poate îmbunătăți performanța. În ultimii ani, datorită dezvoltării modelelor de învățare profundă și a creșterii disponibilității seturilor de date masive, a devenit mai prominentă *Învățarea prin Transfer (TL)*. Abordarea TL presupune utilizarea unui set de tehnici care implică utilizarea cunoștințelor și experienței dobândite într-un domeniu pentru a îmbunătăți performanța unui model sau algoritmi într-un alt domeniu sau sarcină similară [22-25]. Această tehnică se bazează pe premisa că informațiile și caracteristicile învățate dintr-un domeniu pot fi utile și aplicabile în alt domeniu, în special atunci când setul de date din domeniul țintă este limitat sau insuficient pentru a antrena un model eficient de la zero.

Capitolul III „Aplicarea inteligență ale metodelor biostatisticii în cercetări de fiziologie a plantelor” descrie unele modele elaborate de analiză biostatistică a datelor

experimentale, obținute în laboratorul de Securitate biologică din cadrul facultății „Biologie și Geștiințe” a Universității de Stat din Moldova. Sunt analizați parametri morfologici a plantelor: lungimea și volumul rădăcinii, lungimea hipocotilului și epicotilului, lungimea internodurilor, înălțimea totală a plantei. Parametrii biometrici au fost corelați cu indicii cantitativi ai biomasei proaspete și uscate a rădăcinii și a tulpinii.

În teză sunt expuse componentele sistemului suport decizii pentru studiul compoziției chimice a boabelor de soia (*Glycine max* (L.) Merrill.) pentru analiza unor compuși organici și anorganici cu rol hotărâtor în asigurarea calității boabelor de soia. Obiectivele componentelor software au fost asistența cercetărilor pentru determinarea gradelor de influență a preparatelor *Reglalg* (preparat de natură algală) și *Biovit* (preparat de natură humică) asupra calității boabelor de soia [35].

Tabelul 1. Influența compușilor asupra conținutului de azot (soiul Clavera, supus tratamentului foliar cu Reglalg și Biovit), (%)

Comparație	\bar{d}	$S^{\bar{d}}$	t_{exp}	$lsd_{0.05}$	$lsd_{0.01}$
<i>Martor vs Reglalg</i>	4.1	0.07	62.3*	0.14*	0.24**
<i>Martor vs Biovit</i>	5.23	0.01	49.3*	0.22*	0.4**

*Influență semnificativă la nivel de certitudine de 95%

**Influență semnificativă la nivel de certitudine de 99%

În rezultatul procesării datelor obținute în urma desfășurării experimentelor în laborator, prin utilizarea metodelor biometrice, au fost obținute cunoștințele necesare realizării obiectivelor trasate. În acest context au fost dezvoltate componente informatice în cadrul sistemului suport pentru studiul creșterii și dezvoltării plantelor. Obiectivele componentelor sistemului suport au fost asistența cercetărilor pentru determinarea gradului de influență a fitohormonului Heteroauxina (0.0001%), preparatelor *Reglalg* (1:300) și *Biovit* (1:500) asupra unor parametri morfofiziologici corelați cu creșterea și dezvoltarea plantelor. A fost determinată ipoteza statistică referitoare la diferența mediilor dintre perechile independente ale eșantioanelor. Sunt analizați mai mulți parametri: lungimea rădăcinii și tulpinii, biomasa proaspătă și uscată a rădăcinii și tulpinii.

Au fost identificate și descrise rezultatele principale ale influenței unor substanțe biologice active asupra creșterii și dezvoltării plantelor de soia (*Glycine max* (L.) Merrill.). Prin intermediul analizei biostatistice riguroase, s-au identificat corelații semnificative între efectele unor compuși biologici activi și procesele fiziologice ale plantelor, oferind o mai bună înțelegere a impactului lor în contextul condițiilor specifice din Republica Moldova. Un aspect important abordat în acest capitol este evidențierea genotipurilor cu potențial util și reziliență la condițiile climatice din

Republica Moldova, în contextul schimbărilor climatice actuale. Aceste genotipuri prezintă o importanță deosebită pentru selectarea varietăților de soia care pot supraviețui și se pot dezvolta optim în condițiile de mediu variabile. De asemenea, s-au procesat datele obținute experimental referitor la scurgerea electroliților la temperatura de 25° C, 46° C, 48° C, 50°C, 52° C și 100° C. Mai jos sunt expuse graficele care reprezintă rezultatele referitor la influența tratamentului cu substanța de natură humică pentru patru genotipuri: *Clavera*, *Colina*, *Horboveanca* și *Dorința* (figurile 1 și 2).

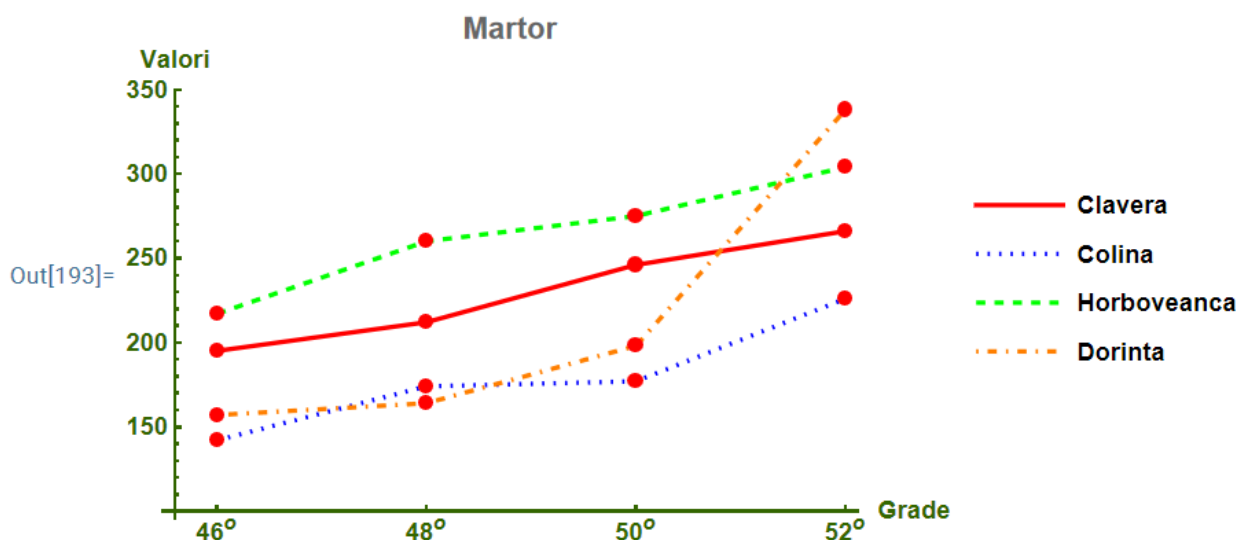


Figura 1. Scurgerea electroliților la grupul martor.

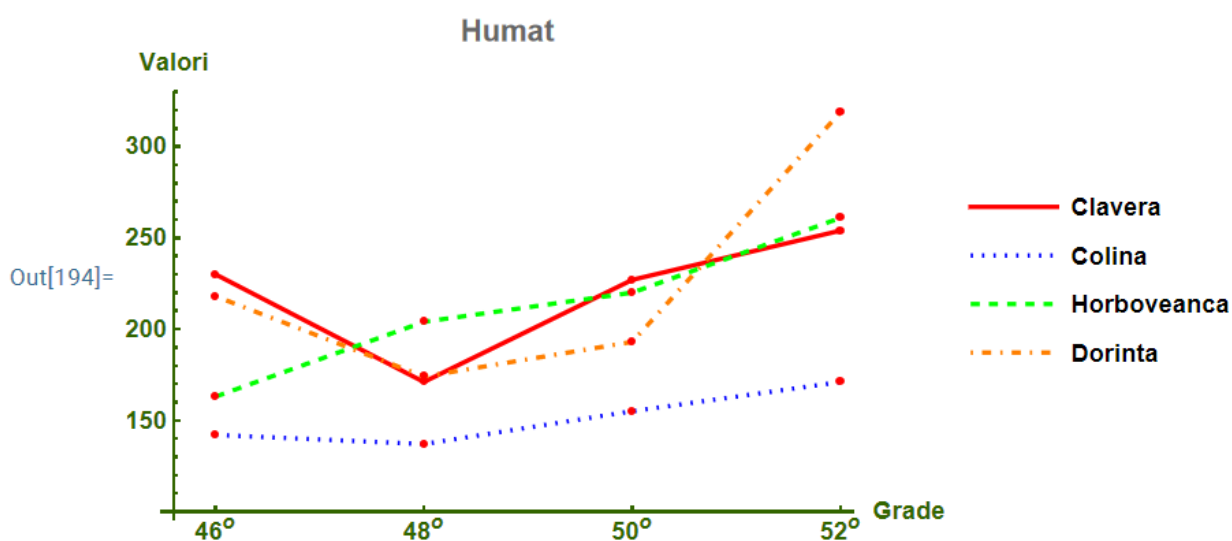


Figura 2. Scurgerea electroliților la grupul tratat cu Humat.

Capitolul IV al tezei prezintă detaliat depozitul de date graf creat pentru a evidenția conexiunile relevante în vederea optimizării proceselor agricole. În acest capitol, sunt explorate

grafurile, folosite pentru procesarea datelor meteorologice și definirea nodurilor și relațiilor în Neo4j pentru datele menționate.

Aceste reprezintă soluții pentru realizarea obiectivelor cercetărilor în găsirea interdependențelor netriviabile între datele genetice și fiziologice în funcție de diverși factori cum ar fi influența unor compuși cu activitate biologică, nutriție, umiditate, temperatură, precum și impactul acestora asupra agriculturii Republicii Moldova.

Pentru a dezvolta un depozit de date în agricultură a fost ales sistem de gestionare a bazelor de date de tip graf *Neo4j*. Acest sistem reprezintă o platformă care se concentrează pe gestionarea grafurilor. Integrarea *Neo4j* în acest context poate aduce beneficii semnificative în gestionarea informațiilor complexe și în efectuarea analizelor și vizualizărilor în format graf. Grafurile sunt utile pentru a reprezenta și a vizualiza relațiile complexe între diferite entități [36]. Acestea permit o abordare holistică în gestionarea domeniului agricol și alte domenii legate cu acesta [37,38]. Pentru procesarea datelor rezultate în urma experimentelor au fost realizate grafuri în SGBD Neo4j prin intermediul limbajului Cypher. Pentru simplificarea procesării datelor a fost elaborat câte un graf pentru fiecare experiment. Aceste grafuri sunt:

1. *Graful „Conținutul de azot, proteine, fosfor și pentaoxid în boabele de soia”;*
2. *Graful „Procesarea datelor referitor la influența unor substanțe biologice active asupra plantelor cultivate pe mediu apos Knop;*
3. *Graful „Procesarea datelor referitor la scurgerea electroliților în plantele de soia”;*
4. *Graful „Procesarea datelor referitor la termotoleranța la plantele de soia”;*
5. *Graful „Soiurile și productivitatea”;*
6. *Graful „Procesarea datelor referitor la influența unor substanțe biologice active asupra conținutului de apă și ulei în boabele de soia”;*
7. *Graful „Procesarea datelor referitor la influența unor substanțe biologice active asupra creșterii plantelor de soia”;*
8. *Modelul graf „Procesarea datelor referitor la influența unor substanțe biologice active asupra creșterii plantelor de soia”.*

Un modul important pentru planificarea și gestionarea agriculturii îl reprezintă procesarea datelor meteorologice cu toate datele și informațiile relevante. Sunt incluse datele din perioada anilor 2002 – 2022 obținute de la Serviciul HidroMeteorologic de Stat și Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova [39, 40].

Au fost definite tipurile de noduri și relațiile între ele pentru a modela datele meteorologice. Graful pentru procesarea datelor meteorologice include date despre:

- Cantitatea lunară de precipitații (tipul de noduri *MYRC*), precum și cantitatea totală anuală de precipitații (tipul de nod *YRC*);
- Temperaturile medii lunare și temperaturile medii și mediane anuale (Tipurile de noduri *MYTC*, *YTC*);
- Coeficientul hidrotermic lunar și anual (Tipurile de noduri *MYHTCc*, *YHTCc*);
- Umiditatea solului la diferite nivele (Tipurile de noduri *MSMC*, *YMSC*);
- Viteza medie lunară a vântului (Tipurile de noduri *MYWSC*, *YWSC*);
- Cantitatea medie de roada la hectar (Tipul de noduri *Prod*), (a se vedea figura 3).

Unul dintre aspectele importante abordate în acest capitol este modelul de predicție a fenomenelor meteorologice bazat pe datele stocate în depozitul de date. Acest model permite anticiparea evoluției condițiilor meteorologice, fiind esențial în gestionarea și optimizarea activităților agricole. De asemenea, este redat rezultatul modelului de predicție a productivității unor produse agricole, utilizând datele disponibile în depozitul de date graf. Acest model are potențialul de a sprijini agricultorii în luarea deciziilor, optimizând randamentele culturilor agricole.

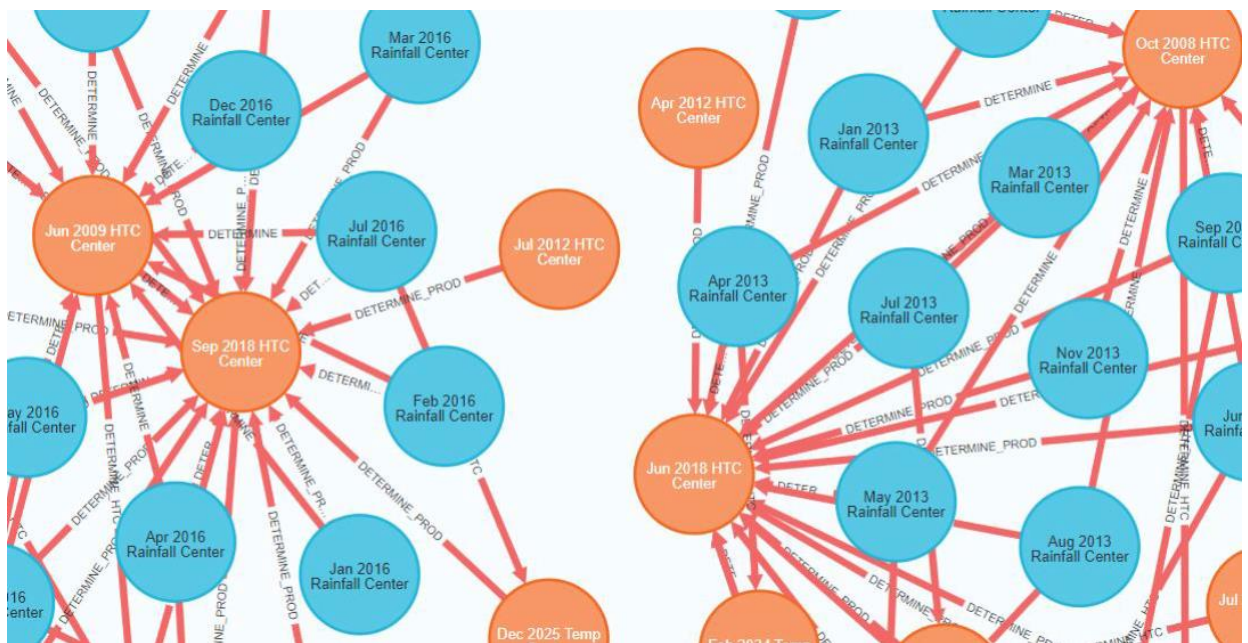


Figura 3. Un fragment din graful „Date meteorologice”.

Odată colectate și procesate, aceste date pot fi utilizate pentru a dezvolta modele predictive ale proceselor fiziologice ale plantelor și pentru a identifica factorii care afectează aceste procese (a se vedea figura 4). Acest lucru poate ajuta la dezvoltarea de tehnologii agricole mai eficiente și sustenabile, precum și la îmbunătățirea înțelegerii modului în care plantele funcționează și interacționează cu mediul înconjurător.

```

1 //Proiecția grafului
2 CALL gds.graph.project('dtPred',{
3   YHTCc:{properties:['htc','drought']},
4   YHTCcp:{properties:'htc'}
5 },
6 '*')
7 );

```

nodeProjection	relationshipProject	graphName	nodeCount	relationshipCount	projectMillis
	ion				
{YHTCcp: {label: "YHTCcp", properties: {htc: {defaultValue: null, property: "drought"}, htc: {defaultValue: null, property: "drought"}}, YHTCc: {label: "YHTCc", properties: {drought: {defaultValue: null, property: "drought"}, htc: {defaultValue: null, property: "htc"}}}	{__ALL__: {orientation: "NATURAL", indexInverse: false, aggregation: "DEFAULT"}, YHTCc: {label: "YHTCc", properties: {}}	"dtPred"	24	21	3678

Figura 4. Crearea grafului în memorie pentru predicția unor fenomene.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Analiza inteligentă a datelor în fiziologia plantelor este un subiect de cercetare actual datorită actualității din motiv că permite obținerea de date mai detaliate și mai diverse cu privire la procesele fiziologice ale plantelor, care permit optimizarea creșterii și producției plantelor agricole. Utilizarea tehnologiilor inteligente pot fi utilizate cu succes pentru a colecta, analiza și interpreta datele în timp real, ceea ce poate ajuta la îmbunătățirea randamentului culturilor, reducerea costurilor și impactului asupra mediului și la optimizarea utilizării resurselor. În urma cercetărilor efectuate, se pot face următoarele cinci concluzii generale:

1. **A fost dezvoltată o bază de cunoștințe** a domeniului de cercetare „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” (capitolul „Integrarea metodelor biostatisticii și a depozitelor de date în procesarea datelor din domeniul fiziologiei plantelor”). Baza de cunoștințe a fost folosită la elaborarea modelelor și produselor program aplicative dezvoltate și a fost integrată în produsele program dezvoltate.
2. **A fost elaborat un limbaj formal** al domeniului de cercetare „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” (capitolul „Integrarea metodelor biostatisticii și a depozitelor de date în procesarea datelor din domeniul fiziologiei plantelor”). Limbajul este de complexitate considerabilă. Aplicarea tehnologiilor informaționale convenționale ar putea solicita implicarea

unei Companii IT pentru realizarea acestuia pe calculator. Metodologia originală de dezvoltare a produselor software orientate pe familii de probleme, folosită în cadrul cercetării doctorale a permis realizarea limbajului formal al domeniului de cercetare „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” și contribuie la avansarea în înțelegerea mai profundă a proceselor fiziologice ale plantelor.

3. **Au fost dezvoltate** modele de analiză inteligentă a datelor orientate pe familii de probleme pentru domeniul de cercetare „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” (capitolul „Aplicarea inteligentă a metodelor biostatisticii în cercetări de fiziologie a plantelor”).

Procesarea datelor experimentale referitor la influența unor compuși biologic activi de origine naturală a pus în evidență principalele variabilele biologice influențate semnificativ la administrarea biopreparatelor, demonstrând eficiență înaltă pentru indicatori cum ar fi conținutul de azot, proteine, fosfor și pentaoxid de fosfor, precum și pentru parametrii morfologici de creștere și dezvoltare a plantelor pe mediu nutritiv apos Knop. De asemenea, se observă influențe pozitive la nivelul scurgerii electroliților și toleranței plantelor la stresul termic.

Totuși, se remarcă că în unele cazuri, rezultatele s-au situat în limitele intervalului de încredere sau au prezentat o influență negativă. Acest aspect ar putea fi subiectul unor investigații ulterioare pentru a înțelege mai bine mecanismele implicate.

Modelele elaborate au fost premiate cu: două Medalii de Aur, o Medalie de Argint, o Medalie de Bronz și o Diplomă de Excelență la Saloane Internaționale ale Inovării și Cercetării Științifice. La AGEPI au fost înregistrate două drepturi de autor.

4. **A fost dezvoltată o bază de date nerelațională** (de tip graf) *Neo4j*, care spre deosebire de bazele de date relaționale demonstrează avantaje în stocarea eficientă a datelor pentru cercetările biologice și agricole, lărgind considerabil posibilitățile nominalizate ale bazelor de date graf aria de aplicare a produselor program aplicative care utilizează acest tip de baze de date (capitolul „Depozitul de date graf: Evidențierea conexiunilor pentru optimizarea proceselor agricole”).

5. **Au fost dezvoltate și validate două modele inteligente** de predicție a probabilității secetei și productivității unor culturi agricole. Aceste modele oferă instrumente esențiale pentru agricultori, cercetători și factori de decizie în eforturile lor de a gestiona resursele agricole într-un mod sustenabil și rezilient. Prin utilizarea tehnologiei avansate de predicție, se poate optimiza luarea deciziilor, se pot minimiza riscurile asociate schimbărilor meteorologice și biologice, contribuind astfel la creșterea durabilității și eficienței în sectorul agricol.

6. **Produsele program dezvoltate** au fost integrate într-un Depozit de Date orientat pe familii de probleme pentru domeniul de cercetare „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei

plantelor” care vor influența luarea deciziilor informate de către utilizatori și decidenți în evaluarea interacțiunilor complexe dintre plante, sol, climă.

7. Utilizarea paradigmei de dezvoltare a produselor program pe familii de probleme și utilizarea tehnicilor Transfer Learning reprezintă soluții potențiale pentru dezvoltarea cercetărilor în diverse domenii de cercetare.

În ansamblu, rezultatele oferă o imagine coerentă și informativă asupra rezultatelor obținute în cadrul cercetării, precum și a posibilelor direcții pentru dezvoltarea ulterioară a domeniului.

Recomandări de cercetare viitoare

Cercetarea s-a axat pe utilizarea Depozitului de Date orientat pe familii de probleme pentru domeniul de cercetare „Modelarea biostatistică a datelor în domeniul fiziologiei plantelor”.

Această metodologie de cercetare poate fi extinsă și pentru alte culturi agricole. În baza acestor cercetări se recomandă:

- a) De a folosi în continuare modele, tehnicile și produsele program de analiză inteligentă a datelor în fiziologia plantelor pentru cercetările științifice la Facultatea Biologie și Geștiințe.
- b) De a extinde cercetările de modelare biostatistică a datelor în domeniul fiziologiei plantelor pentru alte culturi agricole în cooperare cu alte Instituții din Republica Moldova și peste hotare.
- c) Completarea bazei de date și a depozitului de date cu date și informații noi, precum și extinderea surselor și instrumentelor în vederea creării unui *lac de date (data lake)*.
- d) Dezvoltarea continuă a depozitului de date și integrarea acestuia într-un sistem suport pentru decizii colaborativ.

BIBLIOGRAFIE

1. DEXONLINE. Tehnologie. [citat: 16.06.2020] Disponibil: <https://dexonline.ro/definitie/tehnologie>
2. MARCU, Florin. Dicționar de neologisme. Știința, Ch. 2011.
3. AGFUNDERNEWS. Regenerative Agriculture 5.0: The Future of Farming?, @2020 [citat: 5.08.2020]. Disponibil: <https://agfundernews.com/regenerative-agriculture-5-0-the-future-of-farming.html>.
4. WEI, W., CHENG, Y., ZHU, X., & LI, D. (2020). Deep Learning-Based Crop Recognition for Intelligent Agriculture. *Sensors*, 20, 1-19. doi: 10.3390/s20133419.
5. GOLAN, L. HELLER, A. How AI and ML can translate data into wisdom, 7 Dec 2020. [citat: 28.08.2022]. Disponibil: <https://www.nokia.com/blog/how-ai-and-ml-can-translate-data-into-wisdom/>
6. SHOAI B, M., SHAH, B., EI-SAPPAGH, S., ALI, A., ULLAH, A., ALENEZI, F., GECHEV, T., HUSSAIN, T., ALI, F. An advanced deep learning models-based plant disease detection: A review of recent research. *Front. Plant Sci.* 14:1158933, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1158933>
7. WEBB, Sarah. Deep learning for biology. *Nature*. 554. 555-557. 2018. 10.1038/d41586-018-02174-z. [citat: 10.05.2022]. Disponibil: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02174-z>
8. MOHANTY, SP., HUGHES, DP., SALATHÉ, M. Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection. *Front. Plant Sci.* 7:1419.2016. <https://doi:10.3389/fpls.2016.01419> Disponibil: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01419/full>
9. TAYLOR, Matthew & STONE, Peter. (2009). Transfer Learning for Reinforcement Learning Domains: A Survey. *Journal of Machine Learning Research*. 10. 1633-1685. 10.1145/1577069.1755839.
10. DONAHUE, J., HOFFMAN, J., RODNER, Erik & Saenko, TREVOR, Kate & Darrell. Semi-Supervised Domain Adaptation with Instance Constraints. *Proceedings / CVPR, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2013.* 668-675. 10.1109/CVPR.2013.92.
11. NGUYEN, DANIEL D. KARAVANIC, KAREN L. Workflow Critical Path: A data-oriented critical path metric for Holistic HPC Workflows, *Bench Council Transactions on*

- Benchmarks, Standards and Evaluations, Volume 1, Issue 1, 2021,100001, ISSN 2772-4859, <https://doi.org/10.1016/j.tbench.2021.100001>
12. PAN, S. J., YANG, Q. A. Survey on Transfer Learning, in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 22, no. 10, pp. 1345-1359, Oct. 2010, <https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.191>
 13. RUDER, S., PETERS, M. E., SWAYAMDIPTA, S., WOLF, T. 2019. Transfer Learning in Natural Language Processing. In Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Tutorials, pages 15–18, Minneapolis, Minnesota. Association for Computational Linguistics. DOI: 10.18653/v1/N19-5004. <https://aclanthology.org/N19-5004>
 14. MWITI, Derrick. Transfer Learning Guide: A Practical Tutorial With Examples for Images and Text in Keras. <https://neptune.ai/blog/transfer-learning-guide-examples-for-images-and-text-in-keras>.
 15. ZHANG, J., Li, W., OGUNBONA, Ph., XU, D. Recent Advances in Transfer Learning for Cross-Dataset Visual Recognition: A Problem-Oriented Perspective. arXiv:1705.04396v3 [cs.CV] 20 May 2019. <https://arxiv.org/pdf/1705.04396.pdf>
 16. TAVASSOLY I, GOLDFARB J, IYENGAR R. Systems biology primer: the basic methods and approaches. Essays Biochem. 2018 Oct 26;62(4):487-500. doi: 10.1042/EBC20180003. PMID: 30287586. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30287586/>
 17. .ISB. What is Systems Biology. <https://isbscience.org/about/what-is-systems-biology/>.
 18. XU, C., JACKSON, S.A. Machine Learning and complex biological data. Genome Biol 20, 76 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1689-0>
 19. SCIENTIA. <https://www.scientia.ro/univers/76-sisteme-complexe/852-sistemele-complexe-scurta-introducere.html>
 20. DAI X and SHEN L. Advances and Trends in Omics Technology Development. Front. Med. 9:911861,2022. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.911861>
 21. PAN, S. J., YANG, Q. A. Survey on Transfer Learning, in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 22, no. 10, pp. 1345-1359, Oct. 2010, <https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.191>
 22. RUDER, S., PETERS, M. E., SWAYAMDIPTA, S., WOLF, T. 2019. Transfer Learning in Natural Language Processing. In Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Tutorials, pages 15–18, Minneapolis, Minnesota. Association for Computational Linguistics. DOI: 10.18653/v1/N19-5004. <https://aclanthology.org/N19-5004>

23. MWITI, Derrick . Transfer Learning Guide: A Practical Tutorial With Examples for Images and Text in Keras. <https://neptune.ai/blog/transfer-learning-guide-examples-for-images-and-text-in-keras>.
24. BHANDARI, N.; ZHANG, S.; KHATIWADA, B. Transfer Learning from Deep Features for Remote Sensing and Poverty Mapping. In: Remote Sensing, 2019.
25. JIA, F., SHAO, L., LI, Y., WANG, Y., & WANG, H. (2020). Deep Learning for Crop Yield Prediction in Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 20, 1-21. doi: 10.3390/s20154230.
26. PATEL, M., CHANDEL, T., BAJAJ, D., & KALIA, S. (2021). Remote Sensing and Învățare Automată Approaches for Monitoring Crop Growth and Yield in Precision Agriculture: A Review. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 9, 71-86. <https://doi.org/10.5815/ijisae.2021.03.06>
27. ROY, A., SAHA, M., GHOSH, K., & GIRI, B. (2020). Plant Image Analysis for Plant Diseases and Nutrient Deficiency Classification. In *Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)* (pp. 102-107). <https://doi.org/10.1109/iCoMET49435.2020.9133266>
28. AHMED, K. E. A., HOSSAIN, M. S., UDDIN, M. S., & ALAMRI, A. (2020). An Efficient and Comprehensive IoT-Based System for Smart Agriculture. *Sensors*, 20, 1-16. <https://doi.org/10.3390/s20174834>
29. AMARA, K., BOUGUESSA, M., & MOUSSAOUI, S. (2020). A Survey on the Applications of Machine Learning in Agriculture: A Review. *Journal of Information Science and Engineering*, 36, 1041-1066. doi: 10.6688/JISE.202007_36(4).0011. -> 102
30. KUMAR, S., KAUR, H., & SINGH, R. (2019). Machine Learning Techniques for the Prediction of Plant Diseases: A Review. In *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)* (pp. 501-505). <https://doi.org/10.1109/SPIN.2019.8711667>
31. LEE, S. H., LEE, J. Y., LEE, J. H., KIM, M. Y., & LEE, D. K. (2019). Agricultural IoT System for Real-Time Monitoring and Prediction of Environmental Parameters Affecting Crop Production. *IEEE Access*, 7, 113758-113767. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2934276.
32. MAJUMDAR, J., NARASEEYAPPA, S. & ANKALAKI, S. Analysis of agriculture data using data mining techniques: application of big data. *J Big Data* 4, 20 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0077-4>, <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-017-0077-4>
33. KAO, P.-H., BAIYA, S., LAI, Z.-Y., HUANG, C.-M., JHAN, L.-H., LIN, C.-J., LAI, Y.-S., & KAO, C.-F. (2022). An advanced systems biology framework of feature engineering

- for cold tolerance genes discovery from integrated omics and non-omics data in soybean. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1019709>. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1019709>, ISSN 1664-462X. ISSN=1664-462X. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1019709/full>
34. CĂPĂȚĂNĂ Gh. A Programming Paradigm Oriented to Families of Problems. In.: The Scientific Bulletin Addendum No. 4/2019, The Official Catalogue of the „Cadet INOVA” Exhibition Research and Innovation in the Vision of Young Researchers The International Student Innovation and Scientific Research Exhibition - „Cadet INOVA’19”, „Nicolae Bălcescu” Land Forces Academy Sibiu, April 11-13, 2019, p. 72-83, ISSN 2501-3157, ISSN-L 2501-3157, http://cadetnova.ro/documente/Supliment_Inova_19.pdf
 35. McDONALD, J.H. Handbook of Biological Statistics. University of Delaware: Sparky House Publishing, 2009. - 180 p.
 36. ROBINSON, R; WEBBER J.; EIFREM, E. Graph Databases. O'Reilly, Sebastopol, California, USA 2015.
 37. TOWARDS DATA SCIENCE. MORGANTE, V. What is a graph database? Disponibil: <https://towardsdatascience.com/what-is-a-graph-database-249cd7fdf24d>. (accesat 3.12.2022).
 38. GRAF IN AGRO. Graphs Are Feeding the World. <https://neo4j.com/blog/graphs-feeding-world/>
 39. BANCA DE DATE STATISTICE MOLDOVA. Disponibil: <https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/?rxid=2f5a0079-c3c1-461e-81a4-d854b7ba0fcd>
 40. SERVICIU HIDROMETEOROLOGIC DE STAT. [citat: 12.09.2022]. Disponibil: <http://www.meteo.md/index.php/clima/cercetri-climatice/>

LISTA PUBLICAȚIILOR

1. **GANEA, I.** Aplicarea metodelor text mining în căutarea avansată a documentelor de tip text. În: Analele științifice ale Universității de Stat din Moldova. Științe ale naturii și exacte. Chișinău: CEP, 2018, pp. 146-150. ISBN 978-9975-142-55-7.
2. **GANEA, I.** Model of statistical data analysis on nitrogen content in soybeans (Glicine max Merill) in Clavera variety. Journal of Engineering Science 2023, 30 (1), 99. 165-177. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.md.2023.30\(1\).14](https://doi.org/10.52326/jes.utm.md.2023.30(1).14). (Categoriea **B+**).
3. **BÎRSAN, A. SPRINCEAN, V. GANEA, I.** Oportunități de utilizare în practică a tehnologiilor inteligente în evaluarea unor variabile biologice. În: Studia Universitatis Moldaviae, Nr. 1(2023), pp. 53-64. [https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2023_07](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2023_07). (Categoriea **B**).
4. **GANEA, I.** Influența unor substanțe biologice active asupra creșterii și dezvoltării plantelor de soia cultivate pe medii nutritive apoase Knop. In: StudMath-IT 2020 Students Conference organized by the Faculty of Exact science within „Aurel Vlaicu” University of Arad, 13th edition, p. 12-13.
5. **GANEA, I.** Elaborarea bazei de date de tip graf pentru analiza datelor biologice. Volumul lucrărilor: International Students' Conference „StudMath-IT 2021”, „Aurel Vlaicu” University of Arad, Faculty of Exact Science Arad, Romania, November 18-19, 2021, p. 6.
6. **GANEA, I.** Sistem suport pentru studiul dezvoltării plantelor cultivate pe medii M1. Conferința științifică națională a doctoranzilor „Metodologii contemporane de cercetare și evaluare” 22-23 aprilie 2021. Chișinău, 2022, CEP USM. CZU:004.89:[57.087.1:631.53], p. 103 - 107.
7. **GANEA, I.** Use of bio-statistics in data analysis of the biological active substances on plants. Mathematics & IT: Research and education (MITRE – 2021), International Conference. Abstracts. Chișinău, 2021. CEP USM, 2021. ISBN 978-9975-158-19-0, p. 104.
8. **GANEA, I. BÎRSAN, A.** Biological data processing. International Exhibition InventCor. – II-nd edition. Posters. ISBN 978-606-35-0467-9, p. 44, **Medalie de Aur**.
9. **GANEA, I. BÎRSAN, A. CĂPĂȚĂNĂ, G.** Using the neo4j Pearson similarity algorithm for the analysis of protein content in soybean. The Official Catalogue of the „Cadet INOVA” Exhibition Research and Innovation in the Vision of Young Researchers. „Nicolae Bălcescu” Land Forces Academy of Sibiu. Scientific Bulletin Addendum No. 7/2022 April 7-9, 2022. Academia Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” din Sibiu. ISSN 2501-3157, p. 120 – 131.

10. **GANEA, I. BÎRSAN, A.** Use of Neo4j algorithms in biological data processing. Proceedings of the 14th edition of Euroinvent European Exhibition of Creativity and Innovation, Iași, 2022. ISSN Print: 2601-4564, Online: 2601-4572, p. 167 – 168, **Medalie de argint.**
11. **GANEA, I. BÎRSAN, A.** Use of neo4j link prediction algorithms in biological data processing. În „Salonul Internațional de Invenții, Inovații „Traian Vuia””. Timișoara, 08-10 octombrie 2022 / coord. : Romi Rădulescu. Timișoara, Editura Politehnica, 2022, p. 77, ISBN 978-606-35-0496-9, **Medalie de bronz.**
12. **GANEA, I. BÎRSAN, A. CĂPĂȚĂNĂ, G.** Model de analiză a scurgerii electroliților la plantele de soia. Prezentat la Conferința științifică națională cu participare internațională „Integrare prin Cercetare și Inovare”, 10.11.2022, pp. 51-53.
13. **BÎRSAN, Ana, FRUNZĂ, Maria, GANEA, Ion, DIACONU, Ecaterina.** Invasive species of woody plants in the „Orheiul vechi” protected area. In: *Natural sciences in the dialogue of generations*, 14-15 septembrie 2023, Chișinău. Chișinău: CEP USM, 2023, p. 135, ISBN 978-9975-3430-9-1.
14. **GANEA, I. BÎRSAN, A. SMÂNTÂNA, L. CĂPĂȚĂNĂ, Gh.** Model de analiză statistică a datelor privind conținutul de azot și fosfor în plante. Drept de autor. Seria O Nr. 7091 din 08.12.2021.
15. **GANEA, I.** Model de predicție a productivității unor culturi agricole. Drept de autor. Seria OȘ Nr. 7552 din 21.06.2023.
16. **GANEA, I., CĂPĂȚĂNĂ, Gh.** Intelligent Support System „Biostatistical Modelling of Data in the Field of Plant Physiology”, (preprint).
17. **GANEA, I.** Prediction Model for Soybean Productivity. Database Systems Journal (preprint).

ADNOTARE

Ion GANEA „Modele, tehnici și produse program de analiză inteligentă a datelor în fiziologia plantelor”. Teza de doctor în informatică, Chișinău, 2024.

Structura tezei: Teza este scrisă în limba română și constă din Introducere, patru capitole, concluzii și recomandări. Bibliografia cuprinde 220 de titluri. Lucrarea conține 134 de pagini de text de bază, 37 de figuri, 17 tabele și 32 de anexe. Rezultatele obținute au fost publicate în 17 lucrări științifice cu un volum de peste 5 coli de autor.

Cuvinte cheie: tehnologii inteligente, fiziologia plantelor, biostatistică, bază de cunoștințe, baze de date graf, depozit de date, modele, limbaj formal, familii de probleme.

Scopul tezei de doctorat este dezvoltarea și furnizarea de asistență cercetătorilor biologi pentru a facilita procesarea informației și identificarea rezultatelor semnificative obținute în cadrul cercetărilor biologice complexe pentru optimizarea procesului de descoperire a cunoștințelor relevante și de dobândire a înțelepciunii în biologie și agricultură.

Obiective: Identificarea informațiilor cheie în cercetările biologice pentru interpretarea datelor; Dezvoltarea și validarea unor modele de analiză inteligentă a datelor; Procesarea datelor pentru cuantificarea efectelor tratamentelor asupra plantelor; Crearea Depozitului de date eficient pentru cercetările biologice și agricole.

Noutatea și originalitatea științifică: model generic în limbaj formal al domeniului „Modelarea integrată a datelor în domeniul fiziologiei plantelor” (MIDDFP), o bază de cunoștințe pentru acest domeniu, modele de analiză inteligentă a datelor, depozit de date.

Principala problemă științifică rezolvată: prin modelele dezvoltate și baza de cunoștințe a domeniului de cercetare, cercetătorii biologi sunt asistați în selecția datelor relevante și obținerea de rezultate de înaltă calitate în domeniul fiziologiei plantelor.

Semnificația teoretică: limbajul formal pentru procesarea datelor și baza de cunoștințe furnizează informații structurate, facilitând cercetările, iar modelele de analiză adâncesc înțelegerea datelor.

Valoarea aplicativă: Modelul de analiză inteligentă a datelor aplicat pe depozitul de date prezintă rezultatele în mod intuitiv, prin grafuri ușor de înțeles. Printr-o soluție inovativă bazată pe un depozit de date graf, se optimizează performanțele sistemelor biologice și agricole.

Implementarea rezultatelor științifice: Modelele elaborate au fost premiate cu: două medalii de aur, o medalie de argint, una de bronz și diplomă de excelență la saloane internaționale de tehnologie în anii 2021 - 2023. La AGEPI au fost înregistrate două drepturi de autor.

ANNOTATION

Ion GANEA „Models, Techniques, and Software Products for Intelligent Data Analysis in Plant Physiology”. Doctoral Thesis in Computer Science, Chişinău, 2024.

Thesis Structure: The thesis is written in Romanian and consists of an Introduction, four chapters, conclusions, and recommendations. The bibliography includes 220 titles. The work contains 134 pages of main text, 37 figures, 17 tables, and 32 appendices. The obtained results have been published in 17 scientific papers totaling over 5 author sheets.

Keywords: intelligent technologies, plant physiology, omics, biostatistics, knowledge base, graph databases, data repositories, models, problem families.

Research Purpose: Develop and provide assistance to biologists in order to facilitate data processing and identify significant results obtained in complex biological research, optimizing the knowledge discovery process and acquiring wisdom in biology and agriculture.

General Research Objectives: Identifying key information in biological research for data interpretation; Development and validation of intelligent data analysis models; Data processing for quantifying the effects of treatments on plants; Utilizing advanced technologies to optimize the discovery of relevant results; Establishing an efficient Data Repository for biological research; Evaluating factors influencing agricultural efficiency, considering complex interactions.

Scientific Novelty and Originality: A generic model in the formal language of the field „Integrated Data Modeling in Plant Physiology” (MIDDFP), a knowledge base for this domain, and intelligent data analysis models.

Main Scientific Problem Solved: Through the developed model and knowledge base, biological researchers are assisted in selecting relevant data and obtaining high-quality results in the field of plant physiology.

Theoretical Significance: The knowledge base provides structured information, facilitating research, and the analysis models deepen the understanding of data.

Applicative Value: The applied intelligent data analysis model on this repository presents results intuitively, through easily understandable graphs, thus optimizing the performance of biological and agricultural systems and strengthening the resilience of agricultural systems.

Implementation of Scientific Results: The models have been awarded two gold medals, one silver medal, one bronze medal, and a certificate of excellence at international technology exhibitions in the years 2022, 2023. Two copyrights have been registered with AGEPI.

АННОТАЦИЯ

Ион ГАНЯ „Модели, техники и программные продукты для интеллектуального анализа данных в физиологии растений”. Докторская диссертация по информатике, Кишинэу, 2024.

Структура диссертации: Диссертация написана на румынском языке и состоит из Введения, четырех глав, заключения и рекомендаций. Библиография включает 220 названий. Работа содержит 134 страниц основного текста, 37 иллюстраций, 17 таблиц и 32 приложений. Полученные результаты были опубликованы в 17 научных статьях, общим объемом более 5 авторских листов.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, физиология, биостатистика, база знаний, графовые базы данных, хранилища данных, модели, семьи проблем.

Цель исследования: Разработка и помощь биологическим исследователям для обнаружения знаний и результатов в области биологии на основе анализа большого объема данных.

Научные задачи: оптимизация процесса обнаружения результатов, оценка факторов риска и их воздействия на сельскохозяйственную эффективность, разработка и валидация моделей интеллектуального анализа данных, создание хранилища данных.

Научная новизна и оригинальность: Обобщенная модель на формальном языке области "Интегрированное Моделирование Данных в Физиологии Растений" (MIDDFP), база знаний для данной области и модели интеллектуального анализа данных.

Основная Решенная научная проблема: С помощью разработанной модели и базы знаний биологические исследователи получают помощь в выборе соответствующих данных и получении высококачественных результатов в области физиологии растений.

Теоретическое значение: База знаний предоставляет структурированную информацию, облегчая исследования, а модели анализа углубляют понимание данных.

Прикладная ценность: Примененная модель интеллектуального анализа данных на хранилище данных представляет результаты интуитивно, через легко понимаемые графы, тем самым оптимизируя производительность биологических систем.

Внедрение научных результатов: Разработанные модели были удостоены двух золотых медалей, одной серебряной медали, одной бронзовой медали и Диплом отличия на международных выставках технологий в 2022 и 2023 годах. Две авторские права были зарегистрированы в AGEPİ.

ION GANEA

**MODELE, TEHNICI ȘI PRODUSE PROGRAM DE ANALIZĂ
INTELIGENTĂ A DATELOR ÎN FIZIOLOGIA PLANTELOR**

121.03. PROGRAMAREA CALCULATOARELOR

Rezumatul tezei de doctor în informatică

Aprobat spre tipar: 29.01.2024
Hârtie ofset. Tipar ofset.
Coli de tipar.: 1.8

Formatul hârtiei 60x84 1/16
Tiraj 25 ex
Comanda nr.

Centrul Editorial-Poligrafic al USM
Str. Al. Mateevici, 60, Chișinău, MD-2009
Email: cep1usm@mail.ru, usmcep@mail.ru