



UNIUNEA EUROPEANĂ



Instrumente Structurale
2014-2020



GALATIENSIS

IOSUD - UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie mecanică și industrială

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Capital Uman 2014-2020

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Cercetări privind impactul activităților industrii siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente

Doctorand,
Sorina-Simona ARBANAȘ (MORARU)

Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. habil. Antoaneta ENE

Lucrare realizată în cadrul proiectului
“Burse pentru educația antreprenorială în rândul doctoranzilor și cercetătorilor
postdoctorat” - BeAntreprenor!
Contract nr. 51680/09.07.2019 POCU/380/6/13 - cod SMIS: 124539

Seria I 4: Inginerie Industrială Nr. 84
GALAȚI 2022





UNIUNEA EUROPEANĂ



Instrumente Structurale
2014-2020

IOSUD - UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie mecanică și industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Cercetări privind impactul activităților industrii siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente

Doctorand,

Sorina-Simona ARBANAȘ (MORARU)

Președinte:

Prof. univ. dr. ing. Cătălin FETECĂU
Președintele Senatului - Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. habil. Antoaneta ENE
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Cristian - Vasile DOICIN
Universitatea POLITEHNICA din București

Prof. univ. dr. Octavian G. DULIU
Universitatea din București

Prof. univ. dr. ing. Luminița MORARU
Director Școala doctorală de Inginerie mecanică și industrială -
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 4: Inginerie Industrială Nr. 84

Galați 2022



Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE ȘI ARTE

- Seria U 1: **Filologie - Engleză**
- Seria U 2: **Filologie - Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOLOGICE ȘI BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**

CUVÂNT ÎNAINTE

Cel mai mare dar pe care îl poate primi un om este acela de a fi sănătos și a avea alături oameni, care să îl susțină necondiționat, să îi aducă echilibru și liniște interioară în momente de ezitare, să îl ambiționeze când este pe punctul de a renunța. Îi mulțumesc în primul rând *familiei mele*, care, pe toată perioada studiilor de doctorat, m-a susținut cu multă răbdare și înțelegere, pentru că mi-a insuflat dorința neobosită de a cunoaște și de a mă autodepăși.

Îndrumătorului meu științific, doamna *Prof. univ. dr. ing. habil. Antoaneta ENE*, îi sunt recunoscătoare pentru încrederea pe care mi-a acordat-o, implicarea în toate activitățile pe care le-am desfășurat pe parcursul celor patru ani de doctorat, suportul științific și evoluția mea ca profesionist. Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, doamnei *Prof. univ. dr. ing. fiz. Luminița MORARU*, doamnei *Prof. univ. dr. ing. Gabriela Elena BAHIRM* și doamnei *Prof. univ. dr. habil. Cătălina ITICESCU* pentru susținere în etapele de realizare a lucrării.

Îmi îndrept recunoștința către doamna *Conf. dr. fiz. Steluța Gosav*, cadru didactic al Facultății de Științe și Mediu și doamna *Șl. dr. ing. Dana Iulia MORARU*, cadru didactic al Facultății de Știința și Ingineria Alimentelor, pentru suportul științific, sfaturile constructive pe care le-am primit și îndrumarea didactică. Doresc să mulțumesc doamnei *Cerc. șt. dr. Ana PANTELICĂ* și *echipei de fizicieni* de la Institutului Național de Fizică și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei" din Măgurele, doamnei *Dr. Magdalena AFLORI* de la Institutul de Chimie Macromoleculară "Petru Poni" Iași, doamnei *Șl. dr. ing. Alina Mihaela CEOROMILA*, cadru didactic al Facultății Transfrontaliere, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, și doamnei *Conf. dr. Claudia STIHI*, cadru didactic al Universității "Valahia" din Târgoviște, care m-au sprijinit în aplicarea unor metode moderne de analiză avansată a probelor de mediu.

Adresez mulțumiri Centrului de cercetare INPOLDE al Universității "Dunărea de Jos" din Galați și următoarelor proiecte coordonate de doamna *Prof. univ. dr. ing. habil. Antoaneta ENE*, în cadrul cărora au fost obținute rezultatele prezentate în această teză de doctorat: Programul Operațional Black Sea Basin 2014-2020, proiectele cod BSB27 - MONITOX și cod BSB165 - HydroEcoNex, Proiectele JINR-Romania nr. 111/2018, 112/2018, 64/2019, 63/2020, 68/2020 și 71/2020, precum și granturile de cercetare JINR-Romania nr. 21/2018, 26/2019 și 32/2020.

Proiectului "Burse pentru educația antreprenorială în rândul doctoranzilor și cercetătorilor postdoctorat (BeAntreprenor!)", cod MySMIS: 124539, îi mulțumesc pentru suportul financiar, cunoștințele dobândite în domeniul antreprenoriatului și pentru că, prin activitățile desfășurate, am descoperit că o veche pasiune poate deveni o afacere.

Totodată, adresez mulțumiri colegelor mele de la Oficiul de Studii Pedologice și Agrochimice Galați, doamna *Director Dr. Alina BĂDILĂ* și doamna *Ec. Camelia Beatrice COMAN*, care m-au susținut moral și m-au ajutat în procesul de documentare inițială, precum și domnului director al Oficiului de Studii Pedologice și Agrochimice Brăila, *Jr. Gabriel Marian PISICĂ* pentru sprijinul acordat în vederea documentării.

Nu în ultimul rând, cu considerație mă adresez colegilor de doctorat, prietenilor mei și tuturor celor care, în mod direct sau indirect, au participat cu un sfat, un gând pozitiv și susținere la îndeplinirea acestui obiectiv.

CUPRINS

Pagina din teză	Pagina din rezumat
CUVÂNT ÎNAINTE	iii iii
INTRODUCERE	xi viii
NOTAȚII ȘI ABREVIERI	xxi
LISTA FIGURI	xxiii
LISTA TABELE	xxix
LISTA ANEXE	xxxiii
I. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII	1 1
1. STUDIU DOCUMENTAR	1 1
1.1. Cadrul fizico-geografic al arealului studiat	1 1
1.1.1. Poziția geografică a arealului studiat	1 1
1.1.2. Aspecte privind relieful teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)	2 2
1.1.3. Aspecte privind geologia teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)	6 2
1.1.4. Aspecte privind condițiile climatice în zona Galați-Brăila ...	7 3
1.1.5. Aspecte privind hidrografia teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)	9 3
1.1.6. Aspecte privind vegetația și fauna teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)	12 3
1.1.7. Aspecte privind învelișul de sol al teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)	14 3
1.1.8. Aspecte privind influența antropică asupra solurilor agricole de pe teritoriile Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila).....	21 4
1.2. Stadiul actual al cercetărilor privind calitatea solurilor la nivelul comunelor Tulucești și Șendreni, județul Galați, și comunei Vădeni, județul Brăila	23
1.2.1. Potențialul agricol al solurilor din comunele Tulucești și Șendreni, județul Galați	24
1.2.2. Potențialul agricol al solurilor din comuna Vădeni, județul Brăila	26
1.3. Reglementări legislative în domeniul protecției solului	28
1.4. Reglementări în domeniul siguranței alimentare	30
II. CONTRIBUȚII PERSONALE	32 5
2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE	32 5
2.1. Cartarea pedo-agrochimică a terenului și eșantionarea solurilor și culturilor agricole	32 5
2.1.1. Prelevarea probelor de sol și de plante	32 5
2.2. Metode de analiză a solului și plantelor	36 7
2.2.1. Metode de analiză fizică a solului	37
2.2.2. Metode de analiză chimică a solului	37
2.2.3. Metode spectroscopice avansate complementare	40

2.3. Metode de calcul pentru determinarea indicilor hidrofizici ai solului, evaluarea poluării prin indici de poluare specifici solului și factori de bioacumulare în plante	50	7
2.3.1. Determinarea indicilor fizici și hidrofizici ai solului	50	7
2.3.2. Determinarea factorilor de bioacumulare a metalelor în plante	51	8
2.3.3. Determinarea indicilor de poluare a solului	52	8
3. CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA PROPRIETĂȚILOR FIZICE ȘI HIDROFIZICE ALE SOLURILOR AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI	57	9
3.1. Studiul proprietăților fizice ale solurilor agricole	57	9
3.1.1. Textura solului	57	9
3.1.2. Greutatea volumetrică a solului	59	10
3.1.3. Indicii fizici ai solului	60	10
3.2. Studiul proprietăților hidrofizice ale solurilor agricole	63	11
3.2.1. Capacitatea de apă în câmp (CC)	63	11
3.2.2. Coeficientul de ofilire (CO)	64	12
3.2.3. Capacitatea de apă utilă (CU)	64	12
3.2.4. Capacitatea de apă ușor accesibilă (CUA)	64	12
3.2.5. Capacitatea totală pentru apă (CT)	66	14
3.2.6. Capacitatea drenantă (CD)	66	14
3.3. Concluzii parțiale	67	15
4. CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA INDICILOR AGROCHIMICI AI SOLURILOR AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI	69	16
4.1. Studiul reacției solurilor	69	16
4.2. Studiul concentrației de carbon organic și humus din sol	69	17
4.3. Studiul concentrației macronutrienților din sol	73	17
4.3.1. Azotul din sol	73	17
4.3.2. Fosforul mobil din sol	76	19
4.3.3. Potasiul mobil din sol	78	20
4.4. Studiul mărimilor implicate în caracterizarea proprietăților de schimb cationic a solurilor	79	
4.4.1. Suma bazelor de schimb (SB)	79	
4.4.2. Aciditatea hidrolitică (Ah)	80	
4.4.3. Capacitatea de schimb cationic ($T_{8,3}$)	81	
4.4.4. Gradul de saturație în baze (V_{Ah})	81	
4.5. Studiul gradului de salinizare a solurilor	81	
4.6. Studiul concentrației de carbonat de calciu total din sol	83	
4.7. Concluzii parțiale	84	21
5. CERCETĂRI PRIVIND CONCENTRAȚIA MICRO ȘI MACROELEMENTELOR ÎN SOLURILE ȘI PLANTELE AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI	86	23
5.1. Concentrația micro și macroelementelor în sol	86	23
5.1.1. Rezultate obținute prin spectrometrie de absorbție atomică de înaltă rezoluție cu sursă continuă (HR-CS AAS)	87	23

5.1.2. Rezultate obținute prin spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS)	101	32
5.1.3. Rezultate obținute prin metode nucleare de analiză (PIGE, PIXE)	112	38
5.2. Concentrația micro și macroelementelor în grâu (<i>Triticum vulgare</i> Vill.), porumb (<i>Zea mays</i> L.) și floarea soarelui (<i>Helianthus annuus</i> L.)	117	40
5.2.1. Rezultate obținute prin spectrometrie de absorbție atomică de înaltă rezoluție cu sursă continuă (HR-CS AAS)	119	40
5.2.2. Rezultate obținute prin spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS)	125	45
5.2.3. Rezultate obținute prin metode nucleare de analiză (PIGE, PIXE)	133	49
5.3. Concluzii parțiale	137	51
6. CERCETĂRI MORFOLOGICE ȘI MINERALOGICE ALE SOLURILOR AGRICOLE ȘI PLANTELOR DE CULTURĂ DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI	139	53
6.1. Identificarea mineralelor din sol prin spectroscopie ATR-FTIR	139	53
6.2. Identificarea grupărilor funcționale ale compușilor organici din plante prin spectroscopie ATR-FTIR	143	54
6.3. Identificarea compoziției mineralogice și structurii morfologice a solului prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectrometrie de raze X cu dispersie după energie (EDX)	146	55
6.4. Identificarea compoziției mineralogice și structurii morfologice a plantelor de cultură prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectrometrie de raze X cu dispersie după energie (EDX)	156	58
6.5. Concluzii parțiale	160	59
7. EVALUAREA NIVELULUI DE POLUARE A SOLULUI PRIN INTERMEDIUL INDICILOR DE POLUARE SIMPLI ȘI COMPLECȘI	162	60
7.1. Aprecierea gradului de poluare a solului prin indici de poluare simpli	162	60
7.2. Aprecierea gradului de poluare a solului prin indici de poluare complecși	171	63
7.3. Concluzii parțiale	175	65
8. BIOACUMULAREA METALELOR GRELE PRIN SISTEMUL SOL-PLANTĂ	176	66
8.1. Evaluarea poluării grâului cu metale grele	176	66
8.2. Evaluarea poluării porumbului cu metale grele	178	67
8.3. Evaluarea poluării florii-soarelui cu metale grele	180	69
8.4. Concluzii parțiale	182	70
9. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	183	71
ANEXE	187	75
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	239	80
DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII	267	90

INTRODUCERE

Solul este una dintre resursele naturale de importanță majoră pentru menținerea vieții pe Pământ, fiind situat la intersecția geosferelor și având o relație permanentă de schimb de materie și energie cu acestea. Importanța ecologică a solului a fost deja demonstrată prin numeroase studii [Verhoef, H.A., 1996], [Blum, W.E.H., 2005], [Trap, J. ș. a. 2016], condițiile edafice influențând dezvoltarea normală a plantelor. Solurile situate în apropierea zonelor industriale, căilor rutiere intens circulate, minelor, centrelor de depozitare a deșeurilor primesc importante cantități de elemente și compuși chimici toxici (As, Cr, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, bifenili policlorurați, hidrocarburi etc.) [Ene, A. ș. a., 2011a], [Popescu, I.V. ș. a., 2014], [Kumar, A. ș. a., 2020], [Danielovič, I. ș. a., 2014] care produc perturbări în desfășurarea firească a proceselor biologice și care pot fi translocate în țesuturile plantelor cultivate pe acestea și introduse în lanțul alimentar. Elemente nocive sunt introduse în sol și prin intermediul produselor utilizate în agricultură pentru fertilizare și tratamentul fungic al plantelor cultivate.

Motivarea temei de cercetare

În ultimele decenii, pe plan internațional și național, s-au realizat numeroase studii privind impactul activităților industriale asupra diferitelor componente ale mediului, modul de transfer al contaminanților în relația aer-sol-apă-vegetație-oameni/animale și efectul stresului provocat de poluanți asupra organismelor vii. În regiunea Galați-Brăila sunt puține date în ceea ce privește contaminarea solului și sedimentelor cu metale grele indusă de activitatea siderurgică sau de alte activități antropice. În ceea ce privește contaminarea plantelor de cultură, a legumelor și fructelor, a plantelor furajere cu elemente toxice provenite din activitatea industrială, gestionarea eronată a dozelor de fertilizanți, amendamente, pesticide și/ sau din traficul rutier, pentru arealul supus cercetării în prezenta lucrare, nu sunt date care să reflecte o situație concretă.

În aceste condiții, lucrarea de doctorat "**Cercetări privind impactul activităților industriei siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente**" are ca obiectiv principal studiul nivelului de contaminare cu elemente majore și minore a stratului superior al solurilor agricole aflate în vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați, precum și concentrația acestor elemente în secțiunile vegetale ale grâului, porumbului și florii soarelui, cultivate pe aceste soluri.

Tema de cercetare abordată în această lucrare va contribui cu rezultatele obținute la baza de date locală și națională, pentru nivelul contaminării cu metale grele și alte elemente toxice a solurilor și plantelor de cultură, precum și cu informații privind amprenta mineralogică și izotopică specifică teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila). Această lucrare poate constitui un punct de plecare pentru noi direcții de cercetare agropedologică și de fiziologia plantei pentru regiunea de sud-est a României.

Teza de doctorat, intitulată "**Cercetări privind impactul activităților industriei siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente**", a fost elaborată sub coordonarea științifică a comisiei de îndrumare compusă din următorii membri: Prof. univ. dr. ing. habil. Antoaneta Ene (coordonator științific), Prof. univ. dr. ing. Luminița MORARU, Prof. univ. dr. ing. Gabriela Elena BHRIM și Prof. univ. dr. habil. Cătălina ITICESCU. Lucrarea este structurată în 9 capitole, organizate în 312 pagini și cuprinde 70 tabele, 87 figuri și 53 anexe.

În **Capitolul 1** sunt prezentate aspecte privind caracterizarea factorilor pedogenetici implicați în formarea și evoluția solurilor din arealul studiat. Totodată, prezintă informații în

legătură cu potențialul agricol natural al solurilor de pe teritoriile Tulucești și Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila, în raport cu factorii ecologici.

Capitolul 2 cuprinde descrierea modului de prelevare a probelor de mediu și a metodelor analitice aplicate în vederea stabilirii însușirilor fizice și a compoziției chimice a acestora. Totodată sunt precizate metodele de determinare a indicilor hidrofizici ai solului, de evaluare a impactului elementelor poluante asupra calității solului prin indici de poluare specifici, precum și a bioacumulării elementelor toxice în plantele de cultură.

În **Capitolul 3** sunt descrise proprietățile fizice și hidrofizice ale solurilor agricole cercetate.

Capitolul 4 constă în prezentarea rezultatelor experimentale obținute pentru parametrii agrochimici ai solului implicați în dezvoltarea plantelor, în general, și a culturilor agricole, în particular.

În **Capitolul 5** sunt puse în evidență concentrațiile micro și macroelementelor din sol și din țesuturile vegetale ale grâului, florii soarelui și porumbului, rezultatele fiind raportate la normele legislative în vigoare și la literatura de specialitate.

Capitolul 6 cuprinde rezultatele cercetării microstructurale și mineralogice a solurilor agricole și țesuturilor vegetale de grâu, porumb și floarea soarelui obținute prin metodele ATR-FTIR și SEM-EDX.

Capitolul 7 prezintă evaluarea nivelului de poluare a solului prin intermediul indicilor de poluare simpli și complecși.

Capitolul 8 evidențiază nivelul de bioacumulare a metalelor grele în țesuturile vegetale ale de grâului, porumbului și floarea soarelui, apreciat după factorul de bioacumulare.

Capitolul 9 cuprinde concluziile generale desprinse din analiza și interpretarea rezultatelor experimentale și pune în evidență contribuțiile originale ale autorului și direcțiile cercetărilor viitoare.

Contribuții originale și aspecte de noutate

Lucrarea de doctorat "**Cercetări privind impactul activităților industriei siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente**" reprezintă prima contribuție științifică, pentru regiunea Galați-Brăila, privind cercetarea complexă a solului, cuprinzând compoziția mineralogică, proprietățile fizice, hidrofizice și chimice, aspecte ale poluării solului și plantelor de cultură cu metale grele și elemente urmă. Analiza comparativă a bioacumulării elementelor toxice în țesuturile vegetale a trei plante de cultură (grâu, porumb și floarea soarelui), având ponderea cea mai mare între plantele agricole cultivate în județele Galați și Brăila și care prezintă o importantă sursă nutritivă pentru populație, nu a mai fost abordată de alte studii anterioare. Un alt aspect de noutate al acestei lucrări constă în analiza multielementală variată a solului și plantelor în agroecosistemele din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați, prin utilizarea unor tehnici instrumentale complementare de analiză avansată, de înaltă sensibilitate (spectrometrice, atomice și nucleare), care au permis identificarea celor mai mici concentrații de elemente.

Rezultatele cercetării au fost prezentate în cadrul conferințelor naționale și internaționale menționate la rubrica *Diseminarea rezultatelor cercetării*. Au fost publicate în total 10 lucrări științifice, din care 1 articol într-un jurnal indexat ISI (IF 2020 = 2.576) și 9 articole în reviste indexate BDI. Trebuie menționat, de asemenea, că activitatea de cercetare din timpul studiilor de doctorat a fost susținută și de o serie de proiecte și granturi naționale și internaționale, în cadrul cărora autoarea a fost membru al echipei de implementare sau voluntar.

I. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII

1. STUDIU DOCUMENTAR

În acest capitol sunt prezentate aspecte privind caracterizarea factorilor pedogenetici implicați în formarea și evoluția solurilor din arealul studiat (caracterizarea reliefului, geologiei, hidrografiei, condițiilor climatice, vegetației, influența antropică), descrierea învelișului de sol și a potențialului agricol al acestuia.

1.1. Cadrul fizico-geografic al arealului studiat

1.1.1. Poziția geografică a arealului studiat

Din punct de vedere al poziției geografice, teritoriile studiate sunt situate în estul României, în sudul Moldovei (comunele Șendreni și Tulucești) și nord-estul Munteniei (comuna Vădeni) - Figura 1.1.



Figura 1.1 Amplasarea în teritoriu a comunelor Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila (conturul hărților prelucrat după [ANCPI, <https://geoportal.ancpi.ro/portal.home/>])

Teritoriul administrativ Tulucești este localizat în partea de SE a județului Galați, fiind delimitat de următoarele teritorii: Frumușița, la N, Republica Moldova, la NE (granița naturală râul Prut), Vânători, la S, municipiul Galați, la est și Smârdan, la vest. Are în componență satele Tulucești (reședința comunei), Tătarca și Șivița. Față de Combinatul Siderurgic Galați (LIBERTY Galați) are o poziție NE, fiind la o distanță de cca. 18 km.

Teritoriul administrativ Șendreni este situat în partea de S a județului Galați și are următoarele vecinătăți: la N, comuna Smârdan, la S, comuna Vădeni (jud. Brăila), la E și NE, teritoriul municipiului Galați, iar la V, comunele Braniștea și Schela. Comuna Șendreni cuprinde satele Șendreni (reședința comunei), Movileni și Șerbeștii Vechi. Toată latura estică a acestui teritoriu este mărginită de platforma industrială a Combinatului Siderurgic Galați.

Teritoriul administrativ Vădeni se află în NE județului Brăila și la S de județul Galați. Comuna Vădeni se învecinează cu teritoriile: Șendreni și municipiul Galați, la N (limită naturală râul Siret), Cazasu și municipiul Brăila, la S, Smârdan și I.C. Brătianu (jud. Tulcea), la E (limită naturală fluviul Dunărea), Siliștea, la V și are în componență satele Vădeni (reședința comunei), Baldovinești și Pietroiu. Comuna Vădeni are o poziție sudică în raport cu Combinatul Siderurgic Galați și este situat la o distanță de cca. 20 km față de acesta.

1.1.2. Aspecte privind relieful teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Sub aspect geomorfologic, suprafețele studiate aparțin Podișului Covurluiului, subunitatea Câmpia Înaltă a Covurluiului, "microdistrictului platoului Băleni-Tulucești" (teritoriul Tulucești) și „microdistrictului interfluviilor terasate Pechea-Galați” (teritoriul Șendreni) [Sficlea, V., 1980], dar și Câmpiei Române, subunitatea Câmpia Siretului Inferior (sudul extrem al teritoriului Șendreni și teritoriul Vădeni) [Coteț, P.V., 1976]. Relieful actual al regiunii studiate se află în strânsă legătură cu compoziția petrografică a substratului și orientarea stratelor geologice. Astfel, relieful comunelor Tulucești și Șendreni are aspectul unui platou cu fragmentare redusă și înclinare evidentă de la nord către sud, pe direcția NNV-SSE. Valorile altitudinii scad constant de la nord la sud, de la 150 m în nordul comunei Tulucești către culoarul Siretului (sudul comunei Șendreni), unde la contactul cu lunca joasă a acestuia prezintă cele mai mici valori (5-6 m). Având în vedere mișcarea de subsidență din Câmpia Siretului Inferior, pe teritoriul comunei Vădeni, altitudinea scade de la 23 m în sud, la contactul cu Bărăganul Nordic, la 2-6 m spre lunca Siretului, situată în nordul teritoriului.

1.1.3. Aspecte privind geologia teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Cunoașterea aspectelor legate de evoluția și alcătuirea geologică a teritoriului studiat reprezintă un factor important al înțelegerii formării reliefului și a distribuției tipurilor de sol. Teritoriile Tulucești și Șendreni se suprapun, pe toată suprafața, Platformei Covurluiului. Caracteristica definitorie a acestei unități structurale este puternica afundare tectonică datorată scufundării părții de sud a Platformei Moldovenești, cu care se învecinează la nord, și a Promontoriului Nord-Dobrogean, situat la limita sudică a depresiunii. Unitatea administrativ-teritorială Vădeni este amplasată pe Platforma Moesică, sectorul Valah, cu un facies litologic deosebit de celelalte compartimente structurale ale acesteia.

Fundamentul Platformei Covurlui constă din șisturi cristaline de vârstă precambriană (gnaise, amfibolite, străpunse de roci eruptive) și sedimente paleozoice, triasice și liasice (conglomerate gresoase, calcare, dolomite, gresii etc.) [Băcăuanu, V. ș. a., 1980], [Sficlea, V., 1980], acoperite de formațiuni jurasice, cretacice, neozoice și cuaternare. Numeroasele foraje executate au evidențiat că *fundamentul Platformei Valahe* este constituit din șisturi cristaline cu intruziuni magmatice de vârstă *Proterozoic superior-Paleozoic inferior*.

Cuvertura, constituită din depozitele sedimentare depuse peste soclul unității constă într-o cuvertură de loess, care în sudul Podișului Covurluiului măsoară zeci de metri grosime. În lungul văii Siretului, sector supus subsidenței, dar și în cadrul celorlalte văi, depozitele cuaternare au origine fluviatilă.

1.1.4. Aspecte privind condițiile climatice în zona Galați-Brăila

Datorită poziției geografice și a complexității factorilor implicați în caracterizarea sub aspect climatic a teritoriului, regiunea studiată face parte din provincia cu climă temperat-continentală excesivă, caracterizată prin veri călduroase, cu lungi perioade de secetă și ierni aspre, cu visole și ger. După clasificarea lui Köppen, zona supusă studiului este clasificată după notația Bsx [Köppen, W. și Geiger, R., 1936], [Kottek, M. ș. a., 2006], ceea ce indică poziționarea acesteia în regiunea climatului de stepă cu secetă accentuată în timpul verii, caracterizată de o temperatură medie a lunii celei mai calde de $\geq 22^{\circ}\text{C}$, cu un maxim de precipitații realizat vara și un minim spre sfârșitul anului.

Regimul termic. Sub aspect termic, arealul studiat este caracterizat de variații mari în cursul anului. *Temperatura medie anuală* a aerului este foarte ridicată, fiind cuprinsă între $10,7^{\circ}\text{C}$ (Galați) și $11,0^{\circ}\text{C}$ (Brăila). *Amplitudinea termică medie anuală* este ridicată, cu o valoare de $25,4^{\circ}$ la Galați și $33,3^{\circ}$ la Brăila, ceea ce marchează continentalismul climatic [Apostol L., 2000], România fiind situată în zona cu amplitudini de temperatură $>20^{\circ}\text{C}$.

Regimul precipitațiilor. După [OSPA Galați, 2014 și 2020] și [OSPA Brăila, 2018], în regiunea studiată precipitațiile au o distribuție anuală cu oscilații mari de la un sezon la altul, pe ansamblu cantitățile medii anuale de precipitații fiind scăzute. Această variabilitate a precipitațiilor subliniază caracterul continental al climei. *Precipitațiile medii multianuale* însumează $485,7\text{ mm}$ la Galați și 450 mm la Brăila. Majoritatea precipitațiilor cad în perioada mai-septembrie, având caracter de aversă, uneori însoțită de grindină.

1.1.5. Aspecte privind hidrografia teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Rețeaua hidrografică a arealului studiat aparține bazinelor hidrografice Siret și Prut, grupa sistemelor hidrografice din estul României, tributare fluviului Dunărea.

Pe teritoriile studiate, nivelul apei pedofreatice poate fi interceptat la adâncimi de peste 10 m pe interfluvii, și la $0,51-5,00\text{ m}$ în zonele de luncă.

1.1.6. Aspecte privind vegetația și fauna teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Având în vedere poziția în cadrul Provinciei floristice pontice, regiunea cercetată dispune de un potențial ecologic deosebit atât prin varietatea speciilor, cât și prin distribuția lor în spațiu. Cu toate acestea, factorul antropic, prin multiplele influențe istorice, a generat modificarea în timp a speciilor vegetale existente. Totodată, continentalismul accentuat a condus la retragerea spre nord a silvostepii și instalarea unei vegetații de stepă, care în Câmpia Înaltă a Covurluiului și în Câmpia Siretului Inferior reprezintă o prelungire a stepei ucrainene (stepa ponto-sarmatică [Băcăuanu, V. ș. a., 1980]). În acord cu vegetația, în regiunea studiată poate fi identificată și o faună sarmato-pontică, cu existența unor exemplare mai rare de origine est-mediteraneană [Băcăuanu, V., 1980].

1.1.7. Aspecte privind învelișul de sol al teritoriilor Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Conform microzonării pedogeoclimatice a României [Florea, N. ș. a., 1999], teritoriile studiate se încadrează în următoarele areale pedogeoclimatice: *Teritoriile Tulucești și Șendreni*: IL-SA 30/7a - microzona solurilor aluviale, cu climă călduroasă-secetoasă, cu relief de luncă; IC-CZ 11/1a - microzona cernoziomurilor, cu climă călduroasă-secetoasă, în regiuni cu relief slab accidentat. *Teritoriul Vădeni*: IL-SA 30/8 - microzona solurilor aluviale,

cu climă călduroasă-secetoasă, cu relief de luncă; IO-PS 28/2 - microzona solurilor nisipoase (psamosolurilor), cu climă călduroasă-secetoasă, în regiuni cu relief ondulat; IS-CZ 4/3 - microzona cernoziomurilor carbonatice, cu climă călduroasă-secetoasă, în regiuni de șes ; IL-LC 24/1 - microzona gleiosolurilor, cu climă călduroasă-secetoasă, în regiuni de luncă.

Încadrarea taxonomică a solurilor

După [OSPA Galați, 2014 și 2020] și [OSPA Brăila, 2018], solurile prezente în arealul cercetat aparțin claselor Protisoluri (tipurile regosol, psamosol și aluviosol), Cernisoluri (tipurile cernoziom și faeoziom), Hidrisoluri (tipul gleiosol), Salsodisoluri (tipul solonceac) și Antrisoluri (tipul antrosol).

1.1.8. Aspecte privind influența antropică asupra solurilor agricole de pe teritoriile Tulucești și Șendreni (județul Galați) și Vădeni (județul Brăila)

Încă din cele mai vechi timpuri, factorul antropic a influențat procesul de solificare în forme variate. Creșterea presiunii antropice asupra ecosistemelor, în general, și asupra agroecosistemelor, în particular, poate cauza degradări dintre cele mai grave, greu de remediat.

Din punct de vedere al utilizării terenului, atât județul Galați, cât și județul Brăila sunt cunoscute pentru întinsele suprafețe de teren cu folosință agricolă. Pe teritoriul Tulucești 85,20 % din suprafața agricolă este reprezentată de terenurile cu folosința arabil, iar pe teritoriul Șendreni terenul arabil ocupă 86,62 % din suprafața agricolă. Pe teritoriul Vădeni 94,79 % din suprafața agricolă este acoperită de terenurile cu folosința arabil. Între culturile agricole, cele mai mari suprafețe sunt cultivate cu grâu, porumb și floarea soarelui. Trebuie menționat că, de-a lungul timpului, suprafața de teren agricol a fluctuat în funcție de lucrările de extindere a intravilanului localităților și a construirii diferitelor obiective de interes local (construirea de parcuri eoliene și fotovoltaice, extinderea rețelei de drumuri ș.a.).

II. CONTRIBUȚII PERSONALE

2. MATERIALE ȘI METODE DE CERCETARE

2.1. Cartarea pedo-agrochimică a terenului și eșantionarea solurilor și culturilor agricole

2.1.1. Prelevarea probelor de sol și de plante

Punctele de prelevare au fost amplasate pe suprafețe de teren arabil aflate în vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați (Liberty Galați), cultivate cu principalele trei culturi agricole, respectiv grâu, porumb și floarea soarelui. Deplasarea pe teren a fost realizată în lunile iulie, august, septembrie și octombrie 2018 și 2019, în funcție de atingerea stadiului de maturitate fiziologică a culturilor agricole. Poziția punctelor de prelevare este prezentată în Figura 2.1.

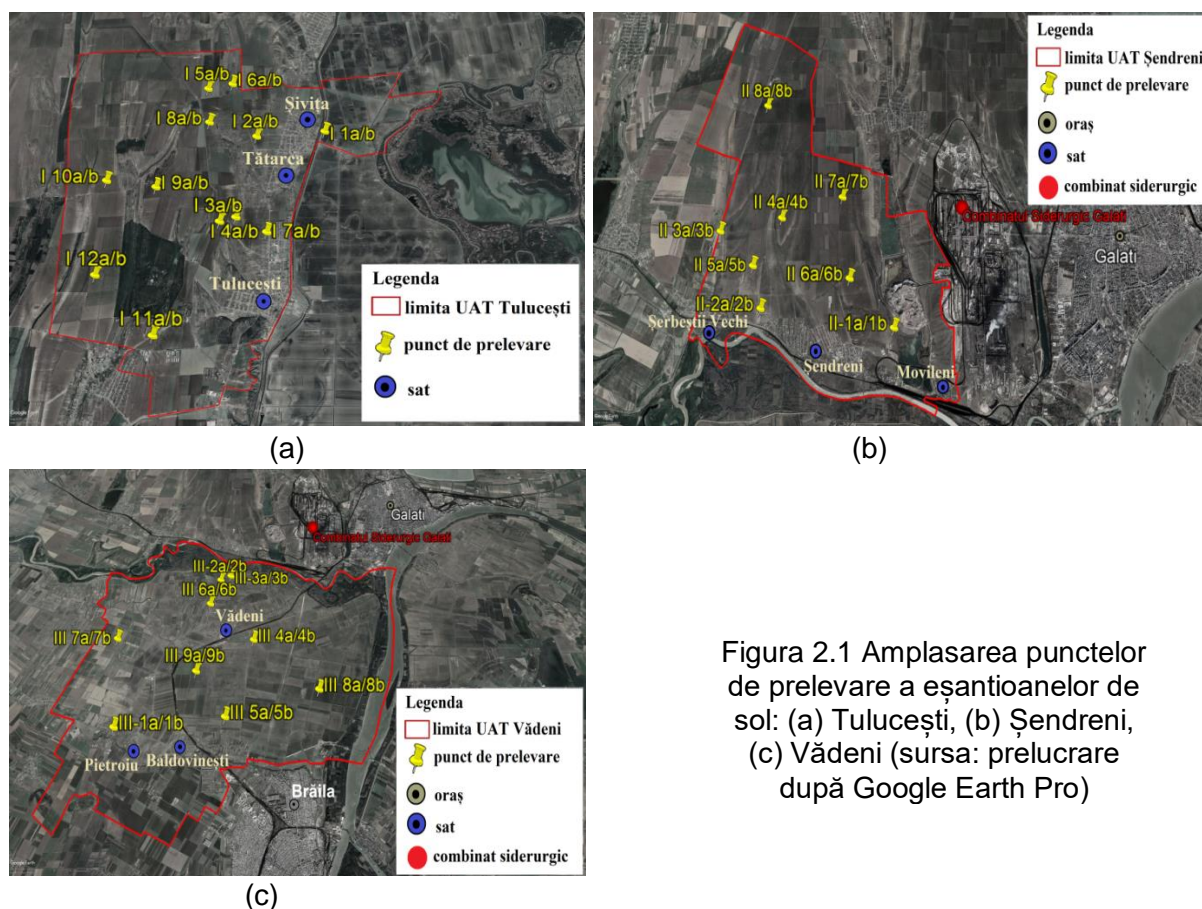


Figura 2.1 Amplasarea punctelor de prelevare a eșantioanelor de sol: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (sursa: prelucrare după Google Earth Pro)

Recoltarea probelor de sol

Probele de sol au fost prelevate pe două adâncimi, 0-5 cm și 5-30 cm, din gropi cu dimensiunea 30x30x30 cm (Figura 2.2) conform [Ordin nr. 184/1997] pentru determinarea concentrațiilor de metale grele și de elemente urmă și [STAS 7184/1-84], în vederea stabilirii nivelului nutrienților și a proprietăților fizice ale solului. În total au fost prelevate 58 de probe de sol, respectiv 29 de probe pe adâncimea 0-5 cm și 29 de probe pe adâncimea 5-30 cm, și 29 probe pe adâncimea 0-30 cm.

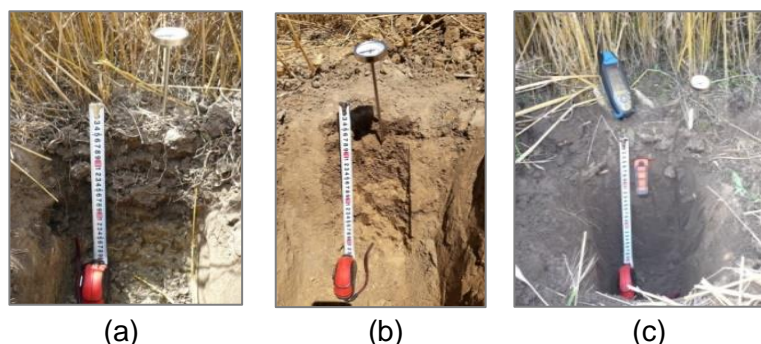


Figura 2.2 Delimitarea adâncimii de prelevare a probelor de sol: (a) Tuluțești (proba I-1 a/b), (b) Șendreni (proba II-4a/b), (c) Vădeni (proba III-1 a/b) (sursa: Moraru S.S.)

După delimitarea adâncimilor de prelevare și împrăștierea săpăturii, probele de sol au fost recoltate de jos în sus pentru evitarea contaminării cu material din stratul superior. S-au prelevat eșantioane în așezare modificată și în așezare naturală (Figura 2.3). Probele recoltate în așezare naturală au fost prelevate în cilindri de alamă de 200 cm³, prevăzuți cu capac din plastic conform [Florea, N. ș. a., 1987c].

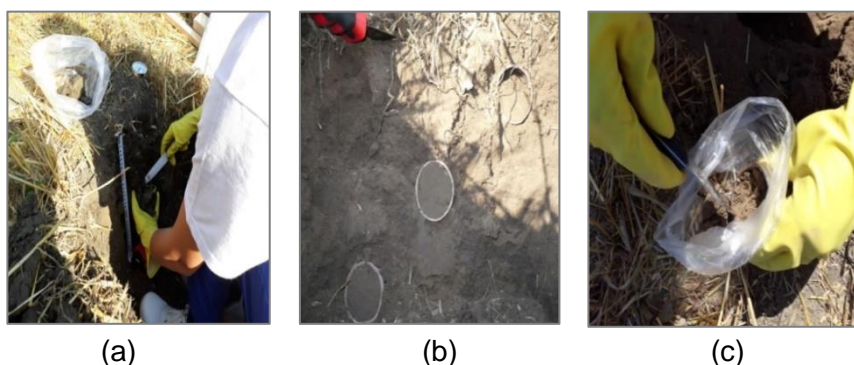


Figura 2.3 Prelevarea eșantioanelor de sol: (a) în așezare modificată, (b) și (c) în așezare naturală (sursa: Moraru S.S.)

Recoltarea probelor de plante

Din loturile din care s-au prelevat probele de sol s-au recoltat indivizi sănătoși, ajunși la maturitate, ai plantelor de cultură (grâu - *Triticum vulgare* Vill., porumb - *Zea mays* L. și floarea soarelui - *Helianthus annuus* L.), din 50 în 50 de metri, astfel încât să fie acoperită întreaga suprafață a lotului conform [Răuță, C. ș. a., 1981], [Kalra, Y.P., 1998]. În timpul procedurii de eșantionare s-au evitat zonele aflate la extremitățile loturilor, precum și plantele vizibil afectate. Loturile în care s-a efectuat eșantionarea și poziția acestora în teritoriu sunt redată în Anexele 2.2a, 2.2b și 2.2c.

Pregătirea probelor pentru analiză

Pregătirea probelor de sol

Pregătirea pentru analiză a probelor de sol a fost executată conform [Stoica, E. ș. a., 1986], pentru determinarea principalilor parametri fizico-chimici, iar pentru analiza concentrației metalelor grele eșantioanele de sol au fost pregătite conform [SR ISO 11466:1999].

Pregătirea probelor de plante

Procedura de pregătire a plantelor pentru analiză a fost realizată după [Kalra, Y.P., 1998]. În Figura 2.5 sunt redată speciile de plante studiate și secțiunile acestora.

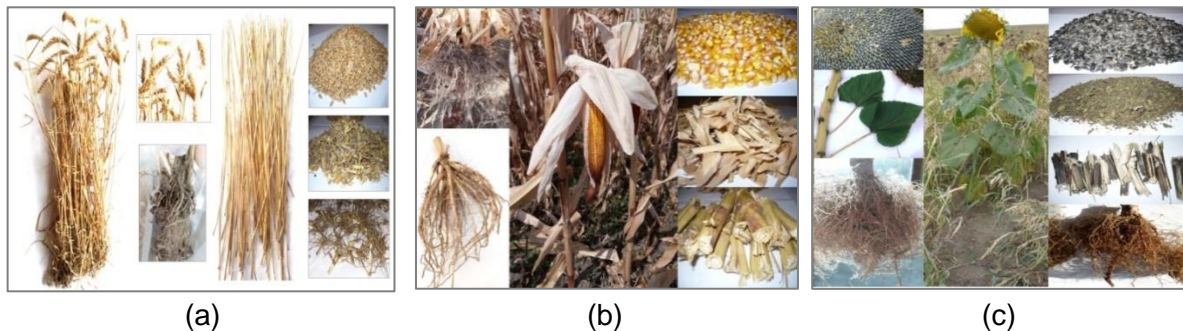


Figura 2.5 Eșantioane de plante în stare naturală și după spălare și uscare la aer: (a) grâu (*Triticum vulgare* Vill.), (b) porumb (*Zea mays* L.), (c) floarea soarelui (*Helianthus annuus* L.) (sursa: Moraru S.S.)

2.2. Metode de analiză a solului și plantelor

Probele de sol și de plante, pregătite conform subcapitolului 2.1.1., au fost supuse următoarelor tipuri de analize:

- *Analiza proprietăților fizice ale solului*: determinarea compoziției granulometrice (după [STAS 7184/10-79]), a greutatei volumetrice și umidității solului (conform [SR EN ISO 11272:2014] și [SR ISO 11465:1998]) în cadrul OSPA Galați;

- *Analiza proprietăților chimice ale solului*: determinarea pH-ului (după [SR 7184/13:2001]), concentrației de azot total (metoda Kjeldahl), fosfor mobil (extrație după metoda Egner-Riehm-Domingo și dozare prin spectrofotometrie UV-VIS), potasiu mobil (extrație după metoda Egner-Riehm-Domingo și dozare prin spectrometrie de emisie atomică în flacără), conținutul de humus, carbon organic (conform [STAS 7184/21-82]), conținutul de CaCO₃ (metoda volumetrică conform [SR EN ISO 10693:2014]), nivelul sumei bazelor de schimb, acidității hidrolitice și gradului de saturație în baze (după [Borlan, Z. și Răuță, C., 1981]), conductivitatea electrică și conținutul total de săruri solubile (după [SR ISO 11265+A1:1998] și [STAS 7184/7-87]) în cadrul OSPA Galați. Rezultatele au fost interpretate după clasificările prezentate de [Florea, N. ș. a., 1987a, c] și [Florea, N. ș. a., 2012].

- *Analize prin metode complementare avansate pentru studiul solului și plantelor* - *metode spectroscopice*: analiza mineralogică și elementală prin tehnica de analiză SEM-EDX în Laboratorul de Microscopie electronică din cadrul Facultății de Științe și Mediu - UDJG și ICMPP Iași și tehnica ATR-FTIR în Laboratorul Centrului de Cercetare INPOLDE-UDJG; analiza elementală prin metoda HR-CS AAS, în Laboratorul Centrului de Cercetare INPOLDE-UDJG și ICP-MS, în cadrul Institutului de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară Târgoviște (ICSTM-UVT); *metode nucleare*: analiza elementală prin tehnicile PIXE, PIGE și RBS în cadrul IFIN-HH Măgurele.

Metodele de analiză sunt descrise în subcapitolele 2.2.1. Metode de analiză fizică a solului, 2.2.2. Metode de analiză chimică a solului și 2.2.3. Metode spectroscopice avansate complementare, prezentate în varianta in extenso a tezei de doctorat.

2.3. Metode de calcul pentru determinarea indicilor hidrofizici ai solului, evaluarea poluării prin indici de poluare specifici solului și factori de bioacumulare în plante

2.3.1. Determinarea indicilor fizici și hidrofizici ai solului

Indicii fizici și hidrofizici ai solului au fost calculați pe baza conținutului de argilă coloidală, praf și a greutatei volumetrice după formulele de calcul conform [Florea, N. ș. a., 1987c], [Dumitru, E. ș. a., 2009] și [Dumitru, M. și Manea, A., 2011], iar rezultatele au fost

încadrate după clasele de apreciere ale aceluiași autori (pe larg în varianta în extenso a tezei).

2.3.2. Determinarea factorilor de bioacumulare a metalelor în plante

Factorul de bioacumulare, numit și coeficient de transfer [Ishii, K. ș. a., 2015], a fost calculat după formula:

$$FB = \frac{C_i \text{ plantă}}{C_i \text{ sol}}$$

în care: FB - factorul de bioacumulare; C_i plantă - concentrația metalului i în secțiuni de plantă (mg/kg s.u.); C_i sol - concentrația metalului i în sol (mg/kg s.u.). [Olowoyo, J.O. ș. a., 2010] și [Rădulescu, C. ș. a., 2013] apreciază că la valori ale $FB > 1$ planta este un bioacumulator, dacă $FB = 1$ metalele nu influențează fiziologia plantei, aceasta putând fi apreciată ca fiind un indicator, iar în situația în care $FB < 1$, planta exclude acel element în procesul de nutriție.

2.3.3. Determinarea indicilor de poluare a solului

Utilizarea indicilor de poluare în aprecierea nivelului de contaminare a solului și sedimentelor s-a dovedit a fi deosebit de utilă în ultimele decenii, oferind informații esențiale în ceea ce privește sursa contaminării, fie ea naturală sau antropică ori datorată acțiunii conjugate a celor doi factori, precum și riscul asociat acestuia asupra componentelor mediului înconjurător [Müller, G., 1969], [Gong, Q. ș. a., 2008], [Håkanson, L., 1980], [Cabrera, F. ș. a., 1999], [Reimann, C. și de Caritat, P., 2005], [Kalavrouziotis, I.K. ș. a., 2012], [Nikolaidis, C. ș. a., 2010].

În vederea evaluării nivelului de poluare a solului cu metale grele, pentru cele trei teritorii din vecinătatea platformei industriale a Combinatului Siderurgic Galați s-au calculat următorii indici de poluare: *indici de poluare simpli* (Indicele de geoacumulare - Igeo, Factorul de îmbogățire - EF, Indicele individual de poluare - PI) și *indici de poluare complecși* (Suma indicilor de poluare - P_{lsum}, Indicele de poluare Nemerow - P_{lNemerow}, Indicele limitei de siguranță - CSI, Indicele de toxicitate potențială - MERMQ, Indicele global de poluare - PLI, Factorul de contaminare - PIN, Indicele riscului ecologic potențial - PERI). Formulele de calcul și clasele de apreciere ale valorilor obținute sunt redate în varianta în extenso a tezei de doctorat.

3. CERCETĂRI PRIVIND CARACTERIZAREA PROPRIETĂȚILOR FIZICE ȘI HIDROFIZICE ALE SOLURILOR AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI

3.1. Studiul proprietăților fizice ale solurilor agricole

3.1.1. Textura solului

Influența compoziției granulometrice a solului, cumulată cu celelalte proprietăți fizice (greutate volumetrică, grad de tasare, porozitate totală, porozitate de aerăție) asupra indicilor hidrofizici și absorbției și circulației elementelor nutritive și/ sau a celor toxice în sistemul sol-plantă a fost prezentată la conferința internațională [Arbanas (Moraru), S.-S. ș. a., 2019c] și publicată în lucrarea [Moraru, S.-S. ș. a., 2020]. Solurile investigate se încadrează în clase de textură grosieră, mijlocie și mijlocie-fină. Având în vedere că teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni se suprapun unui fundament geologic similar, compoziția granulometrică a solurilor este asemănătoare. Distribuția procentuală a valorilor analitice este redată în Figura 3.1.

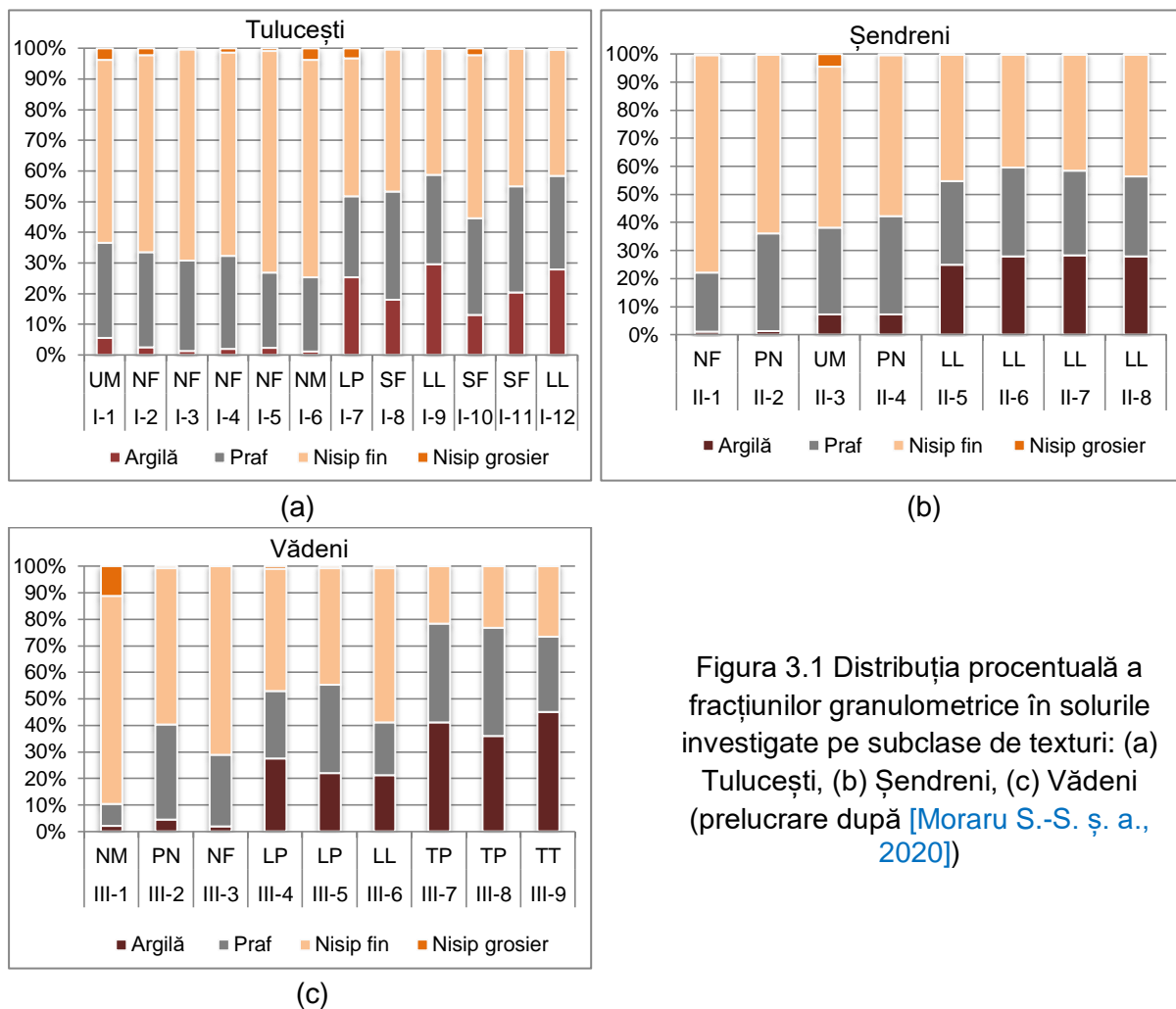


Figura 3.1 Distribuția procentuală a fracțiunilor granulometrice în solurile investigate pe subclase de texturi: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru S.-S. ș. a., 2020])

Pentru arealul studiat [OSPA Galați, 2014, 2020], [OSPA Brăila, 2018], [Arbanas (Moraru), S.-S. și Ene, A., 2018c] și [Moraru, S.-S. ș. a., 2018] au raportat aceleași grupe de clase și subclase texturale.

3.1.2. Greutatea volumetrică a solului

Greutatea volumetrică a solului, denumită și densitate aparentă (DA), este un parametru fizic important, în funcție de care sunt apreciați alți parametri fizici (porozitatea totală, porozitatea de aerație, gradul de tasare a solului), rezervele de materie organică și de nutrienți, precum și indicii hidrofizici ai solului.

Pentru teritoriile studiate, greutatea volumetrică a solului se încadrează în limitele extrem de mică-mijlocie, solul fiind arat pe adâncimea de prelevare 0-30 cm [Moraru, S.S. ș. a., 2020]. Pe fiecare teritoriu, densitatea aparentă corelată cu tipul de textură, se încadrează în următoarele clase de interpretare: extrem de mică ($0,96-1,21 \text{ g/cm}^3$) - probele I-1, I-2, I-3, I-4, I-5, I-6, I-8, I-11, I-12, pe ansamblu caracterizând solurile cu textura grosieră, și foarte mică ($1,16-1,25 \text{ g/cm}^3$) - probele I-7, I-9, I-10, pentru solurile cu textura lutoasă, pe teritoriul Tuluțești; extrem de mică ($0,82-1,07 \text{ g/cm}^3$) - probele II-2, II-3, II-5, II-6, II-7, II-8, cu textură general-lutoasă, și foarte mică ($1,21-1,26 \text{ g/cm}^3$) - probele II-1, II-4, cu textură grosieră și prăfoasă, pe teritoriul Șendreni; extrem de mică ($0,91-1,34 \text{ g/cm}^3$) - probele III-3, III-4, III-6, III-7, III-8, pe texturi de la grosiere la argiloase, foarte mică ($1,16-1,34 \text{ g/cm}^3$) - probele III-1, III-2, III-9, având textură grosieră, prăfoasă și argiloasă, și mijlocie ($1,40 \text{ g/cm}^3$) - proba III-5, cu textura lutoasă, pe teritoriul Vădeni.

3.1.3. Indicii fizici ai solului

Studiul indicilor fizici ai solului la un moment dat și în anumite condiții prezintă importanță deosebită în aprecierea caracteristicilor fizice implicate în absorbția și circuitul nutrienților și a substanțelor toxice sau potențial toxice în sol și din sol spre organele vegetative ale plantelor, precum și pentru rolul pe care acestea le au în desfășurarea proceselor biologice.

Între indicii fizici cu importanță în transferul de nutrienți și elemente poluante de menționat sunt gradul de tasare, porozitatea totală și porozitatea de aerație [Moraru, S.-S. ș. a., 2020]. Figura 3.2 prezintă situația porozității totale și porozității de aerație în raport cu densitatea aparentă a solului, conținutul de argilă și capacitatea de apă în câmp.

Gradul de tasare (GT) este un indice dependent de greutatea volumetrică, de procentul de argilă coloidală și porozitatea totală (PT) a solului. Solurile investigate au un grad de tasare care variază de la extrem de mic ($-41,77- -19,32 \text{ \% v/v}$), foarte mic ($-18,28- -11,60 \text{ \% v/v}$) și mic ($-10,99- -8,35 \text{ \% v/v}$) la mediu ($0,96 \text{ \% v/v}$), ceea ce corespunde unei stări de așezare foarte afânată, afânată, netasată și slab tasată [Dumitru, E. ș. a., 2009].

Porozitatea totală sau volumul total al porilor aflați în masa solului este un indicator aflat în interdependență cu fracțiunile granulometrice din compoziția solului, densitatea aparentă și densitatea solului, cea din urmă fiind apreciată în funcție de conținutul de materie organică din sol [Florea, N. ș. a., 1987c]. Pentru teritoriile studiate, PT se situează în domeniul de variație extrem de mare ($55,97-69,40 \text{ \% v/v}$) - mijlociu ($48,15 \text{ \% v/v}$).

Porozitatea de aerație (PA) reprezintă un indicator al volumului porilor solului ocupați de aer, cu importanță în aprecierea condițiilor optime de dezvoltare a culturilor agricole. Acest indice fizic este dependent de conținutul de argilă coloidală și materie organică, densitatea aparentă și capacitatea de apă în câmp. Rezultatele obținute pentru solurile din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați au pus în evidență valori care se încadrează în domeniul de variație mică ($14,65 \text{ \% v/v}$)-foarte mare ($31,03-49,71 \text{ \% v/v}$).

Valori similare celor obținute în cercetarea prezentă au fost comunicate de [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2018c], [Moraru, S.-S. ș. a., 2018] pentru soluri caracteristice

folosișelor arabil și pășune de pe teritoriul Smârdan, aflat în nordul comunei Șendreni și vestul comunei Tulucești. Datele privind caracterizarea solului din punct de vedere al indicilor fizici au fost parțial publicate în lucrarea [Moraru, S.-S. ș. a., 2020].

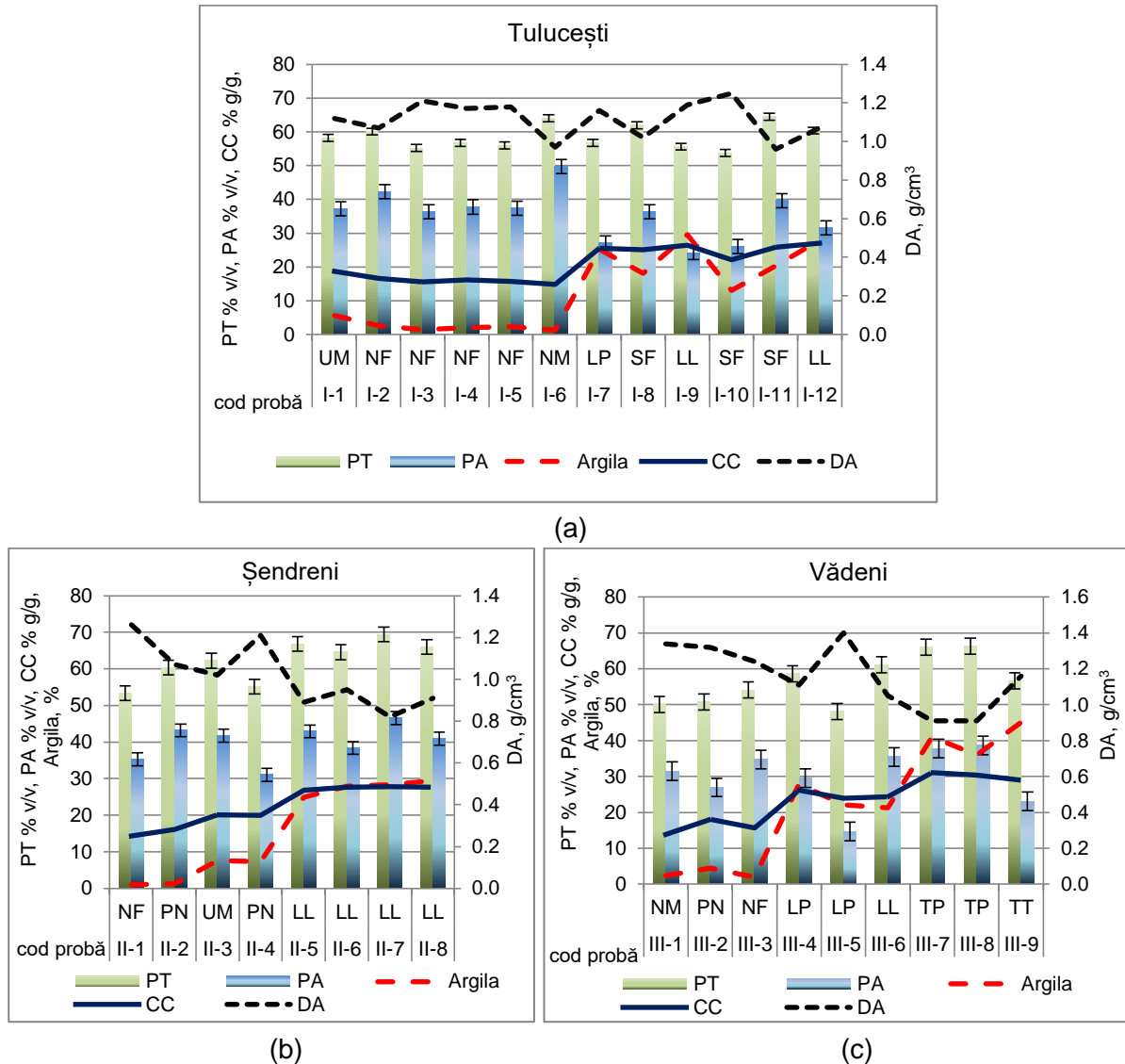


Figura 3.2 Variația porozității totale și a porozității de aeratie în funcție de conținutul de argilă, densitatea aparentă și capacitatea de apă în câmp în stratul 0-30 cm al solului terenurilor arabile de pe teritoriile: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru, S.-S ș. a., 2020])

3.2. Studiul proprietăților hidrofizice ale solurilor agricole

3.2.1. Capacitatea de apă în câmp (CC)

Datele experimentale, prezentate în Figura 3.3, au pus în evidență o creștere proporțională a capacității de apă în câmp cu conținutul de argilă coloidală din sol. Prin urmare, se constată că solurile cu textură grosieră și prăfoasă au o capacitate de apă în câmp mică (probele I-1, I-2, I-3, I-4, I-5, I-6 Tulucești; II-1, II-2, II-3, II-4 Șendreni; III-1, III-2, III-3 Vădeni), solurile cu textură general-lutoasă înregistrează valori mijlocii și mari ale capacității de apă în câmp (probele I-7, I-8, I-9, I-10, I-11, I-12 Tulucești; II-5, II-6, II-7, II-8

Șendreni; III-4, III-5, III-6 Vădeni), iar solurile cu textură general-argiloasă au o capacitate de apă în câmp foarte mare (probele III-7, III-8, III-9 Vădeni).

3.2.2. Coeficientul de ofilire (CO)

Coeficientul de ofilire, corelat cu conținutul de argilă coloidală și cu humusul din sol, indică valori în ordinea: foarte mic (0,42-2,68 % g/g) > mijlociu (4,63-10,39 % g/g) > mare (12,66-15,82 % g/g) - Figura 3.3. Astfel, pentru *teritoriul Tulucești*, CO al solurilor cu textură grosieră este foarte mic (0,47-2,01 % g/g), pentru solurile cu textură lutoasă este mic (4,63-7,17 % g/g) - textură lut nisipoasă fină și mijlociu (8,90-10,39 % g/g) - textură lut mediu și lut prăfos. Pentru *teritoriul Șendreni*, CO este foarte mic, având valori de 0,42-2,68 % g/g pentru solurile cu textură grosieră și prăfoasă și mijlociu, cu valori de 8,79-10,34 % g/g, pentru solurile cu textură lutoasă. Solurile de pe *teritoriul Vădeni* prezintă un CO foarte mic (0,73-1,60 % g/g) pentru solurile cu textură grosieră, mic (7,51-7,80 % g/g) și mijlociu (9,78 % g/g) pentru solurile cu textură lutoasă și mare (12,66-15,82 % g/g), pentru solurile argiloase.

Dumitru, E. ș. a., 2009 relatează că, în general, pentru textura grosieră solurile au valori ale CO în intervalul 1,0-5,0 % g/g, pentru textura mijlocie valori de 5,1-11,0 % g/g, iar pentru textura fină, valori de 11,1-18,0 % g/g.

3.2.3. Capacitatea de apă utilă (CU)

Capacitate de apă utilă, denumită și rezerva potențială de apă [Dumitru E. ș. a., 2009], variază în stratul 0-30 cm al solurilor investigate în funcție de procentul de argilă (<0,002 mm) și greutatea volumetrică a solului astfel: mare (14,34-15,98 % g/g) și foarte mare (16,62-18,73 % g/g) pentru *teritoriul Tulucești*; mare (13,92-5,61 % g/g) și foarte mare (17,30-18,05 % g/g) pentru *teritoriul Șendreni*; mare (12,93-14,92 % g/g) și foarte mare (16,12-17,70 % g/g) pentru *teritoriul Vădeni* - Figura 3.3.

3.2.4. Capacitatea de apă ușor accesibilă (CUA)

Datele analitice redate în Figura 3.4 evidențiază o capacitate sporită de înmagazinare a apei în sol cu cât valorile sunt mai mari și o susceptibilitate la secetă la valori mici ale acestui coeficient. Pe ansamblu, se constată că, în funcție de textura solului și densitatea aparentă, capacitatea de apă utilă este de la mică (463,67 m³/ha) la foarte mare (1093,2 m³/ha). Pe teritoriile studiate, CUA este: mică (463,67 m³/ha), mijlocie (560,91-605,77 m³/ha), mare (748,15-898,82 m³/ha) și foarte mare (915,74-1093,72 m³/ha) pentru *teritoriul Tulucești*; mijlocie (584,40-590,88 m³/ha), mare (733,09-843,35 m³/ha) și foarte mare (1049,78 m³/ha) pentru *teritoriul Șendreni*; mijlocie (693,06 m³/ha), mare (740,13-887,02 m³/ha) și foarte mare (1084,99-1128,38 m³/ha) pentru *teritoriul Vădeni*.

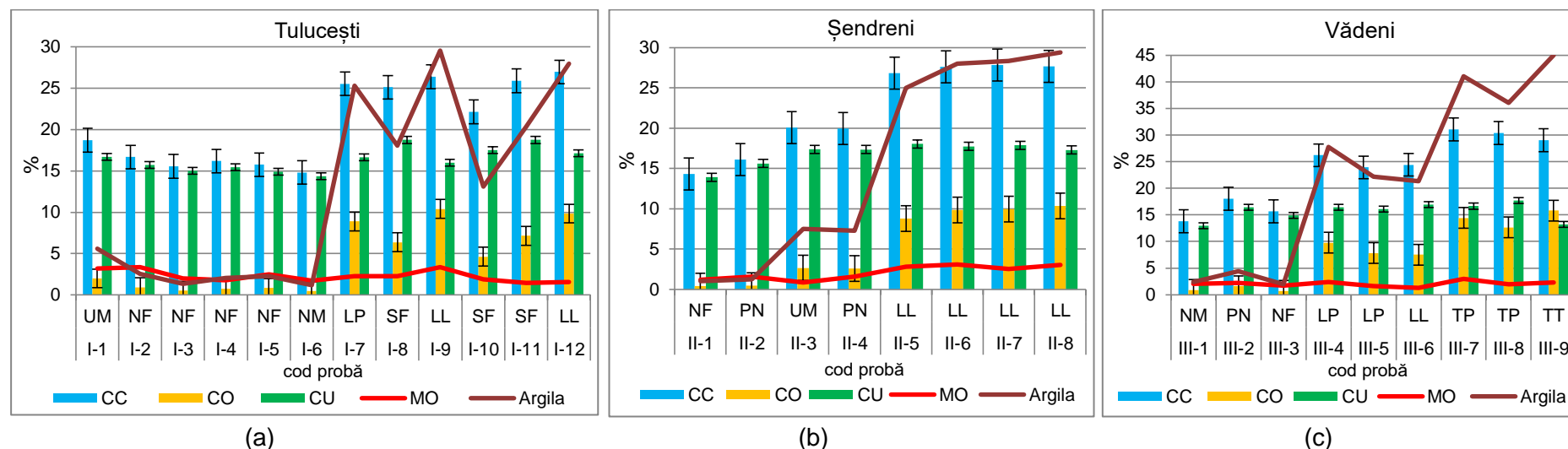


Figura 3.3 Situația capacității de apă în câmp, a coeficientului de oflire și a capacității de apă utilă în stratul 0-30 cm al solului terenurilor arabile de pe teritoriile: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru S.-S. ș. a., 2020])

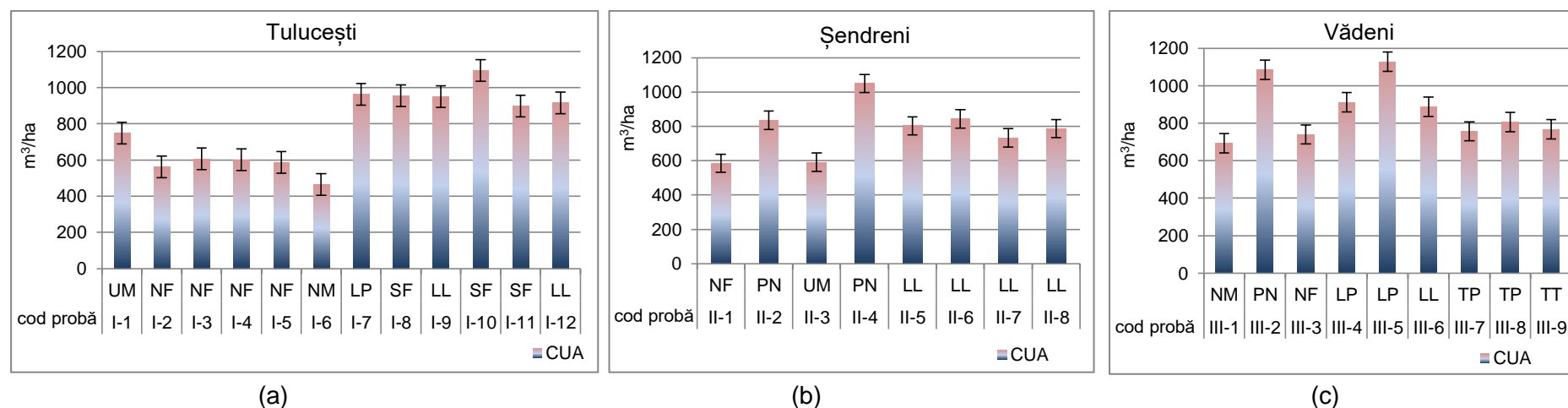


Figura 3.4 Situația capacității de apă ușor accesibilă în stratul 0-30 cm al solului terenurilor arabile de pe teritoriile: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru S.-S. ș. a., 2020])

3.2.5. Capacitatea totală pentru apă (CT)

Dependentă de porozitatea totală a solului, de conținutul de argilă (<0,002 mm) și greutatea volumetrică, capacitatea totală pentru apă, pe adâncimea 0-30 cm, înregistrează valori foarte mari (42,96-56,42 % g/g) și extrem de mari (66,06-67,13 % g/g), pe *teritoriul Tulucești*; foarte mari (42,33-56,42 % g/g) și extrem de mari (61,00-84,64 % g/g), pe *teritoriul Șendreni*; mari (34,39-38,44 % g/g), foarte mari (43,61-58,20 % g/g) și extrem de mari (72,58-72,85 % g/g), pe *teritoriul Vădeni*. Variația capacității totale pentru apă este redată în Figura 3.5.

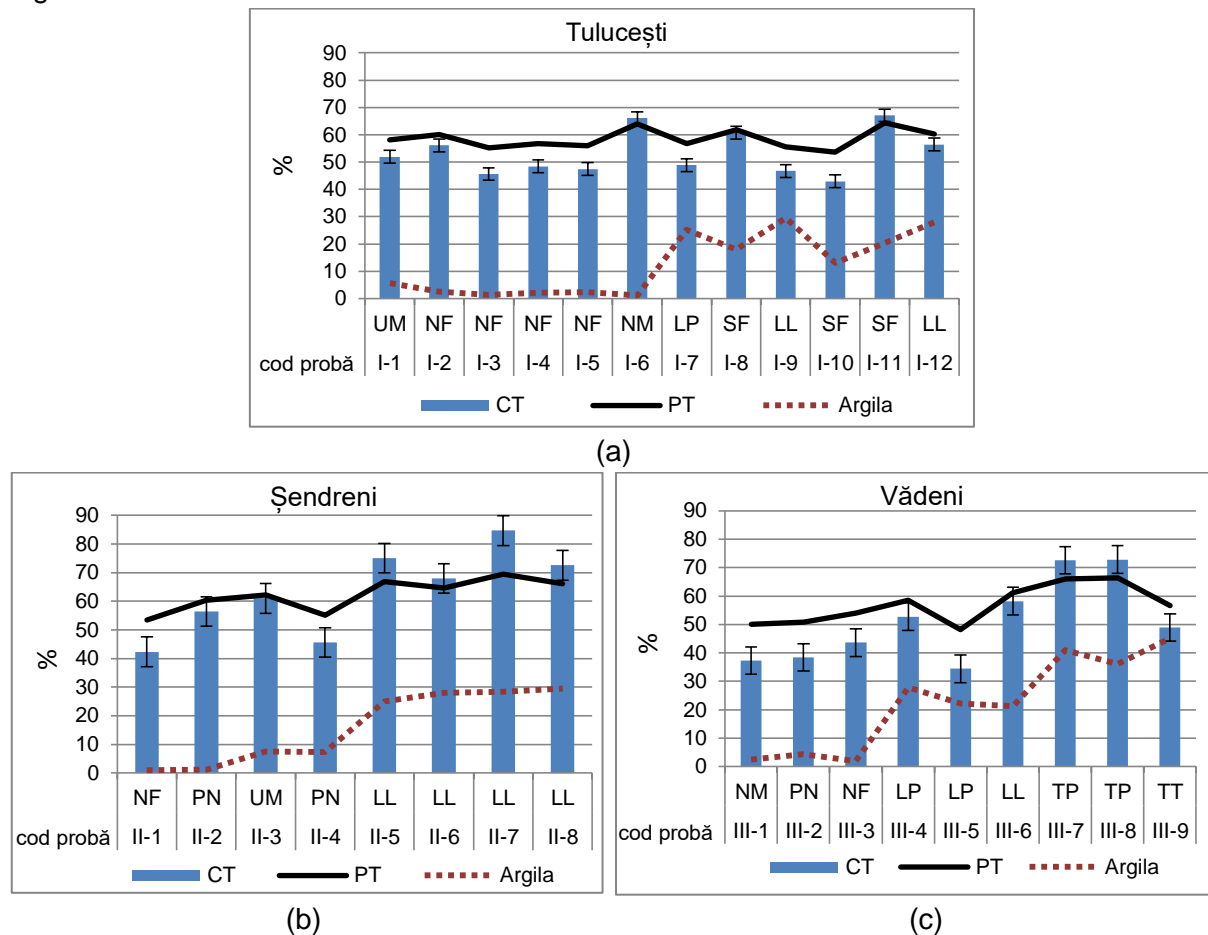


Figura 3.5 Situația capacității totale pentru apă în raport cu porozitatea totală și procentul de argilă în stratul 0-30 cm al solului terenurilor arabile de pe teritoriile: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru S.-S ș. a., 2020])

3.2.6. Capacitatea drenantă (CD)

Capacitatea drenantă a solului, în secțiunea 0-30 cm, prezintă valori de la mici (10,46 % mm) la foarte mari (23,38-51,25 % mm). Pe teritoriile studiate, acest indice hidrofizic variază după cum urmează: mare (20,35-20,83 % mm) și foarte mare (23,38-51,25 % mm), pe *teritoriul Tulucești*; foarte mare (25,65-56,80 % mm), pe *teritoriul Șendreni*; mic (10,46 % mm), mare (19,85-20,41 % mm) și foarte mare (23,49-42,49 % mm), pe *teritoriul Vădeni*-Figura 3.6.

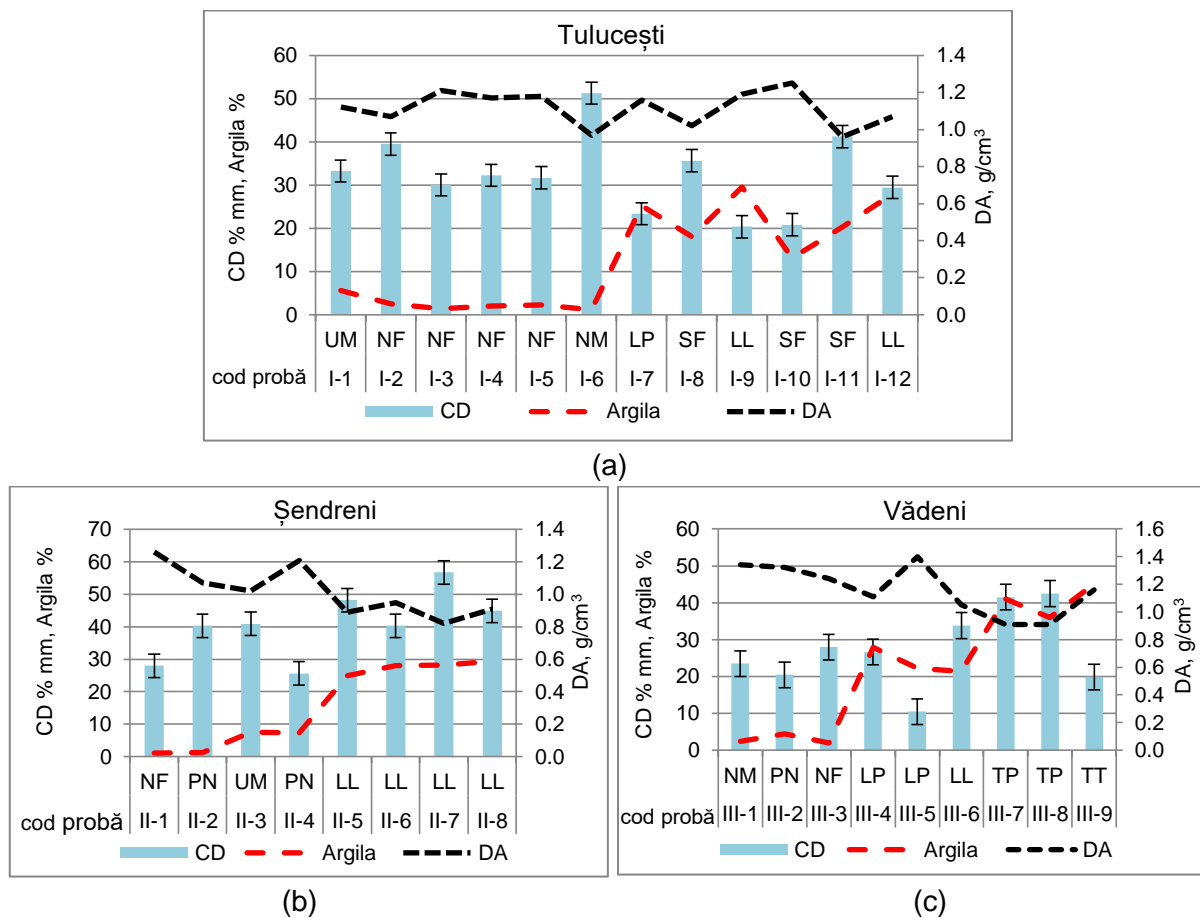


Figura 3.6 Situația capacității drenante în raport cu procentul de argilă și densitatea aparentă în stratul 0-30 cm al solului terenurilor arabile de pe teritoriile: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni (prelucrare după [Moraru S.-S ș. a., 2020])

Datele privind caracterizarea solului din punct de vedere al indicilor hidrofizici au fost publicate parțial în lucrarea [Moraru, S.-S. ș.a., 2020].

3.3. Concluzii parțiale

Pe ansamblu, rezultatele analitice indică faptul că solurile aferente terenurilor arabile de pe teritoriile învecinate complexului industrial siderurgic de la Galați se încadrează în clasele texturale grosieră (nisip mijlociu, nisip fin, nisip lutos mijlociu), mijlocie (lut mediu, praf nisipos) și fină (lut argilos mediu și lut argilos prăfos). Greutatea volumetrică în secțiunea 0-30 cm este extrem de mică și foarte mică, solurile fiind prelucrate în stratul superior prin lucrări agricole specifice. Porozitatea totală și porozitatea de aerație prezintă valori invers proporționale cu greutatea volumetrică a solului. Astfel, în raport cu greutatea volumetrică și compoziția granulometrică a solului, porozitatea totală în stratul 0-30 cm este extrem de mare și foarte mare. Porozitatea de aerație prezintă valori care o încadrează în clasele mică, mare și foarte mare.

Datele experimentale privind indicii hidrofizici au evidențiat că stratul agricol de 0-30 cm al solurilor din agroecosistemul învecinat Combinatului Siderurgic Galați este afânat, fiind prelucrat prin lucrări agrotehnice. În funcție de compoziția granulometrică și densitatea aparentă solul prezintă variabilitate în capacitatea de reținere și de cedare a apei încărcată cu elemente nutritive, toxice sau potențial toxice.

4. CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA INDICILOR AGROCHIMICI AI SOLURILOR AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI

4.1. Studiul reacției solurilor

Reacția solului este un parametru foarte important în aprecierea condițiilor edafice favorabile dezvoltării plantelor. Pentru arealul studiat, pe adâncimea de 0-30 cm, pH-ul solului nu variază în limite foarte largi, fiind pe ansamblu slab acid-moderat alcalin [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020]. Distribuția spațială a claselor de reacție este redată în Figura 4.1.

Solurile de pe teritoriul Tulucești au un pH slab acid, cu valori de 6,35-6,60, slab alcalin, cu valori de 7,52-8,36 și moderat alcalină, cu o valoare de 8,42. Pe teritoriul Șendreni, solurile au un pH slab acid, cu o valoare de 6,34, slab alcalin, cu valori de 7,85-8,02 și moderat alcalin, cu valori de 8,44-8,49. Solurile teritoriului Vădeni, dezvoltate pe materiale parentale aluviale, sunt predominant slab alcaline, cu valori ale pH-ului de 8,06-8,34 și moderat alcaline, cu un pH de 8,46.

Pe ansamblu, reacția solurilor din arealul studiat prezintă similaritate, acestea fiind dezvoltate pe același tip de material parental (depozite de loess și loessoide) și în aceleași condiții ecologice [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a, b]. Rezultatele obținute sunt comparabile cu valorile pH-ului solului comunicate de [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2018d, e], [Moraru, S. ș. a., 2017a, b], [Moraru, S.S. ș. a., 2019b] pentru terenuri cu folosința arabil și pășune situate în Câmpia Întoarsă a Covurluiului, bazinul Chineja.

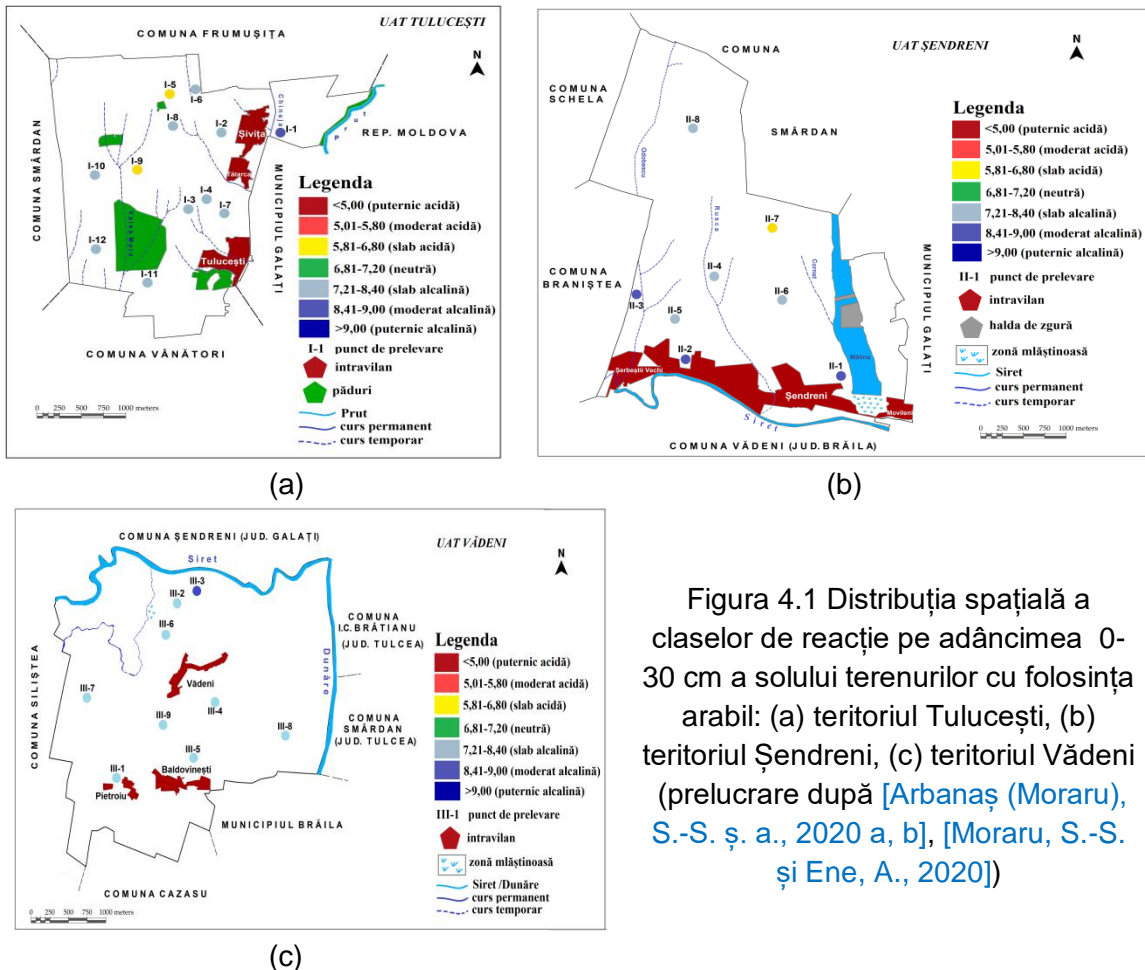


Figura 4.1 Distribuția spațială a claselor de reacție pe adâncimea 0-30 cm a solului terenurilor cu folosința arabil: (a) teritoriul Tulucești, (b) teritoriul Șendreni, (c) teritoriul Vădeni (prelucrare după [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020])

4.2. Studiul concentrației de carbon organic și humus din sol

Materia organică reprezintă componenta esențială a solului, care îi conferă acestuia caracteristici specifice (fizice, chimice, biologice) și un anumit nivel de fertilitate. Datorită capacității mari de reținere a apei și elementelor nutritive, materia organică favorizează păstrarea durabilă a acestora în sol, în forme accesibile plantelor. Aprecierea gradului de aprovizionare a solului cu humus se realizează în raport cu compoziția granulometrică a acestuia și totalitatea factorilor ecologici dintr-un anumit areal, care influențează gradul de acumulare a acestuia în sol. Conținutul de materie organică (MO), carbon organic (C_{org}) sunt redate în Figura 4.2.

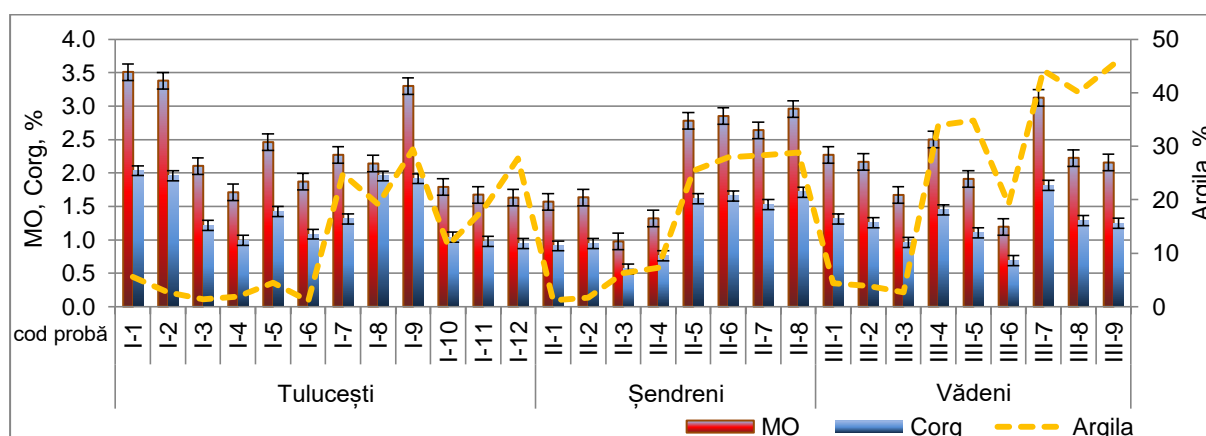


Figura 4.2 Nivelul conținutului de materie organică și de carbon organic în funcție de procentul de argilă în stratul agricol 0-30 cm al solului terenurilor cu folosința arabil de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni (prelucrare după [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b])

Pe ansamblu, stratul agricol 0-30 cm este caracterizat de o aprovizionare de la foarte mică, în punctul de prelevare III-6, Vădeni, pe o textură lutoasă medie, la mare, în punctele de prelevare I-2, I-3, Tulucești, pe o textură nisipoasă fină, și în punctul de prelevare III-1, Vădeni, pe o textură nisipoasă medie. Aprovizionarea solului cu humus în stratul agricol este influențată de tipurile de lucrări agrotehnice, de plantele cultivate, precum și de gradul de înclinare a terenului.

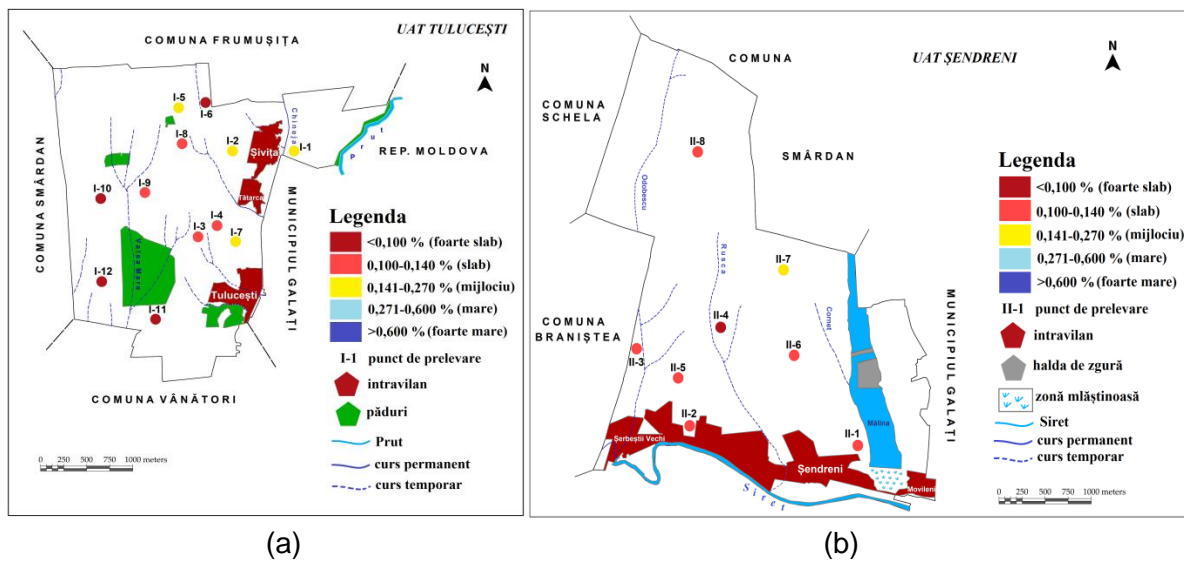
După [Rusu, M. ș. a., 2005], din punct de vedere agrochimic raportul C/N trebuie menținut la valori cât mai scăzute, pentru evitarea blocării macronutrienților din sol. Cu cât acest raport este mai scăzut, cu atât condițiile de fertilitate de la nivelul solului sunt mai ridicate. La valori ridicate ale C, microorganismele responsabile cu descompunerea materiei organice vor consuma azotul din sol, creând astfel dezechilibre în nutriția plantelor. Pentru solurile studiate, valorile raportului C/N sunt de 8,05-14,50 % pe teritoriul Tulucești, 6,20-21,95%, pe teritoriul Șendreni și 7,10-17,00 %, pe teritoriul Vădeni.

4.3. Studiul concentrației macronutrienților din sol

4.3.1. Azotul din sol

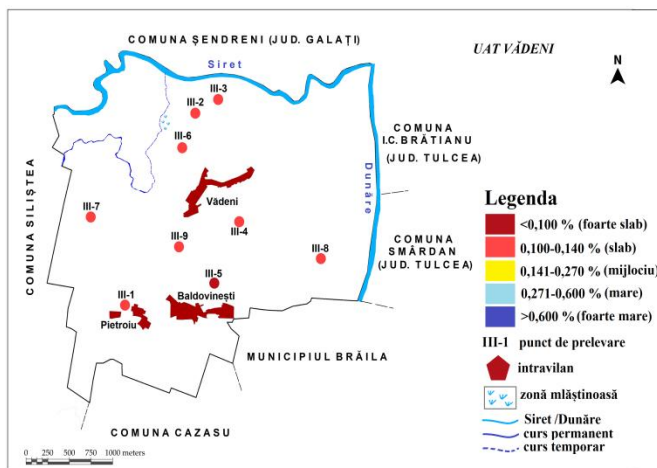
Nivelul azotului din sol poate fi apreciat prin determinarea azotului total Kjeldahl (NTK) sau prin intermediul indicelui de azot (IN), calculat pe baza conținutului de humus și a gradului de saturație în baze.

Concentrația azotului total Kjeldahl în stratul 0-30 cm al solurilor agricole de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni este redată în Figura 4.3.



(a)

(b)

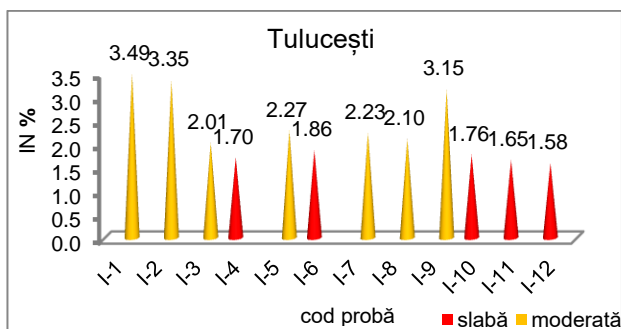


(c)

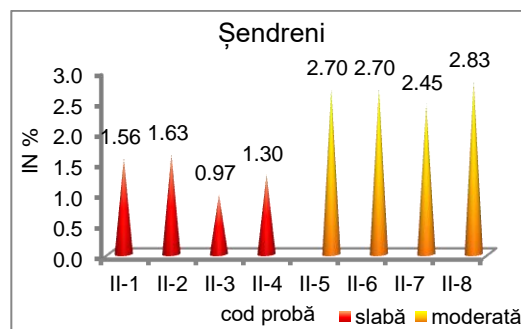
Figura 4.3 Conținutul de azot total pe adâncimea de 0-30 cm a solului terenurilor cu folosința arabil: (a) teritoriul Tulucești, (b) teritoriul Șendreni, (c) teritoriul Vădeni (prelucrare după [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020])

Pe ansamblu, solurile investigate prezintă o concentrație a azotului total care variază de la foarte slabă (0,076-0,098 %) la moderată (0,159-0,175 %) [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020]. Rezultatele obținute sunt comparabile cu valorile comunicate de [Arbaș (Moraru), S.S. ș. a., 2018d, e], [Moraru, S. ș. a., 2017a, b], [Moraru, S.S. ș. a., 2019b] pentru terenuri cu folosința arabil și pășune situate în Câmpia Înaltă a Covurluiului, bazinul Chineja.

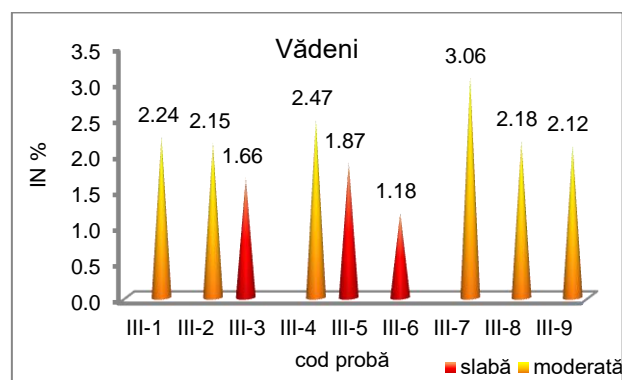
În funcție de rezultatele obținute pentru IN, solurile agricole investigate sunt de la slab (0,97-1,87 %) la moderat (2,10-3,49 %) aprovizionate cu azot [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020]. În Figura 4.4 este redată variația indicelui de azot pentru fiecare teritoriu studiat.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.4 Aproximarea solului cu azot în funcție de indicele de azot pe adâncimea de 0-30 cm a solului terenurilor cu folosința arabil: (a) teritoriul Tuluțești, (b) teritoriul Șendreni, (c) teritoriul Vădeni [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b]

Trebuie menționat că nivelul de aprovizionare a solului cu azot, pe adâncimea de 0-30 cm, este comparabil cu valorile raportate de [OSPA Galați 2014, 2020] și [OSPA Brăila, 2018], atât pentru azotul total Kjeldahl, cât și pentru indicele de azot din stratul agrochimic 0-20 cm, precum și în orizonturile superioare ale solurilor.

Datele privind conținutul de azot, în stratul arabil 0-30 cm, al solurilor de pe teritoriile Tuluțești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate în cadrul conferințelor internaționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019c], [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020] și publicate în lucrarea [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020b].

4.3.2. Fosforul mobil din sol

Pe ansamblu, datele redată în Figura 4.5 arată că fosforul accesibil prezintă un nivel de la slab (9,80-15,75 ppm) la foarte mare (80,85-161,75 ppm). Nivelul de aprovizionare a solului cu fosfor mobil este similar celui raportat de [OSPA Galați, 2014, 2020], [OSPA Brăila, 2018] și prezentat de [Arbaș (Moraru), S.S. ș. a., 2018d, e], [Moraru, S. ș. a., 2017a, b], [Moraru, S.S. ș. a., 2019b].

Solurile de pe teritoriul Tuluțești prezintă o distribuție variată a valorilor, care se încadrează în următoarele clase: aprovizionare slabă (11,30-15,75 ppm); aprovizionare mijlocie (24,00-30,75 ppm); aprovizionare bună (45,05-55,75 ppm) și aprovizionare foarte bună (87,60-253,35 ppm).

Pe teritoriul Șendreni, solurile se încadrează în același domeniu de variație ca cele de pe teritoriul Tuluțești. Astfel, se constată o aprovizionare slabă cu fosfor (9,80 ppm), moderată (35,80 ppm), bună (37,30-49,80 ppm) și foarte bună (80,85-161,75 ppm).

Pe teritoriul Vădeni predomină asigurarea cu fosfor mobil din domeniul slab (14,85 ppm)-foarte bine aprovizionat (180,30 ppm).

Datele privind conținutul de fosfor mobil în stratul arabil 0-30 cm al solurilor de pe teritoriile Tuluțești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate în cadrul conferințelor internaționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019], [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020] și publicate în lucrarea [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020b].

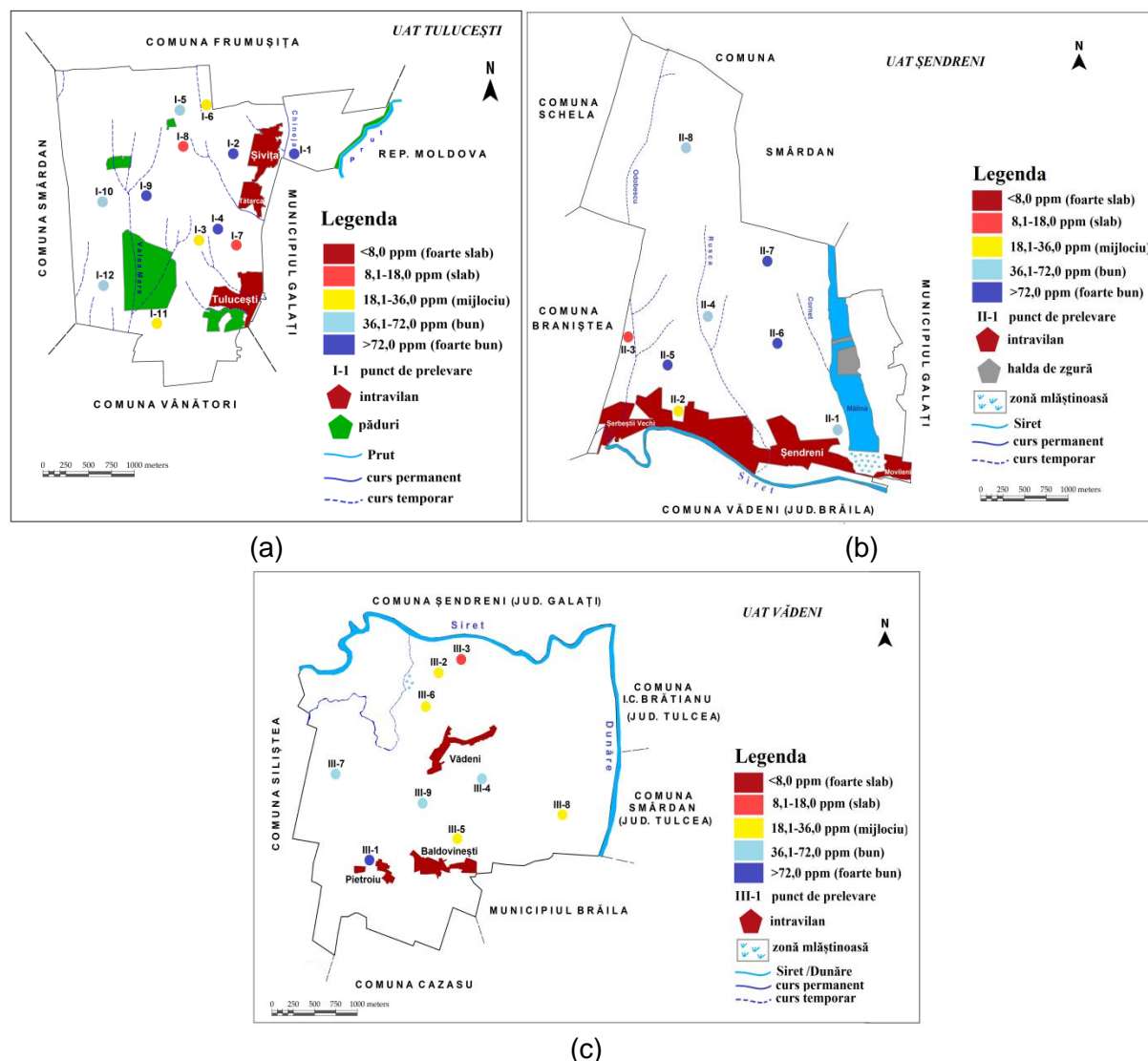


Figura 4.5 Conținutul de fosfor mobil pe adâncimea de 0-30 cm a solului terenurilor cu folosința arabil: (a) teritoriul Tulucești, (b) teritoriul Șendreni, (c) teritoriul Vădeni (prelucrare după [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.S. și Ene, A., 2020])

4.3.3. Potasiul mobil din sol

În solurile agricole adiacente zonei industriale siderurgice de la Galați, concentrațiile potasiului mobil variază în stratul 0-30 cm de la moderat (95-131 ppm) la foarte bine (207-600 ppm) [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020]. Nivelul de aprovizionare a solului cu potasiu mobil este comparabil celui raportat de [OSPA Galați, 2014, 2020] și [OSPA Brăila, 2018], pentru stratul agrochimic 0-20 cm și pentru orizonturile superioare ale solurilor și prezentat de [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2018d, e], [Moraru, S. ș. a., 2017a, b], [Moraru, S.S. ș. a., 2019b]. Figura 4.6 redă variația spațială a nivelului potasiului mobil în solurile agricole studiate.

Pe teritoriul Tulucești, solurile au o aprovizionare moderată (112-131 ppm), bună (133-164 ppm) și foarte bună (210-600 ppm). Solurile de pe teritoriul Șendreni sunt moderat (95-103 ppm, bine (166 ppm) și foarte bine (268-600 ppm) aprovizionate cu potasiu mobil. Pe teritoriul Vădeni, solurile prezintă o aprovizionare bună (170 ppm) și foarte bună (207-506 ppm) cu potasiu mobil.

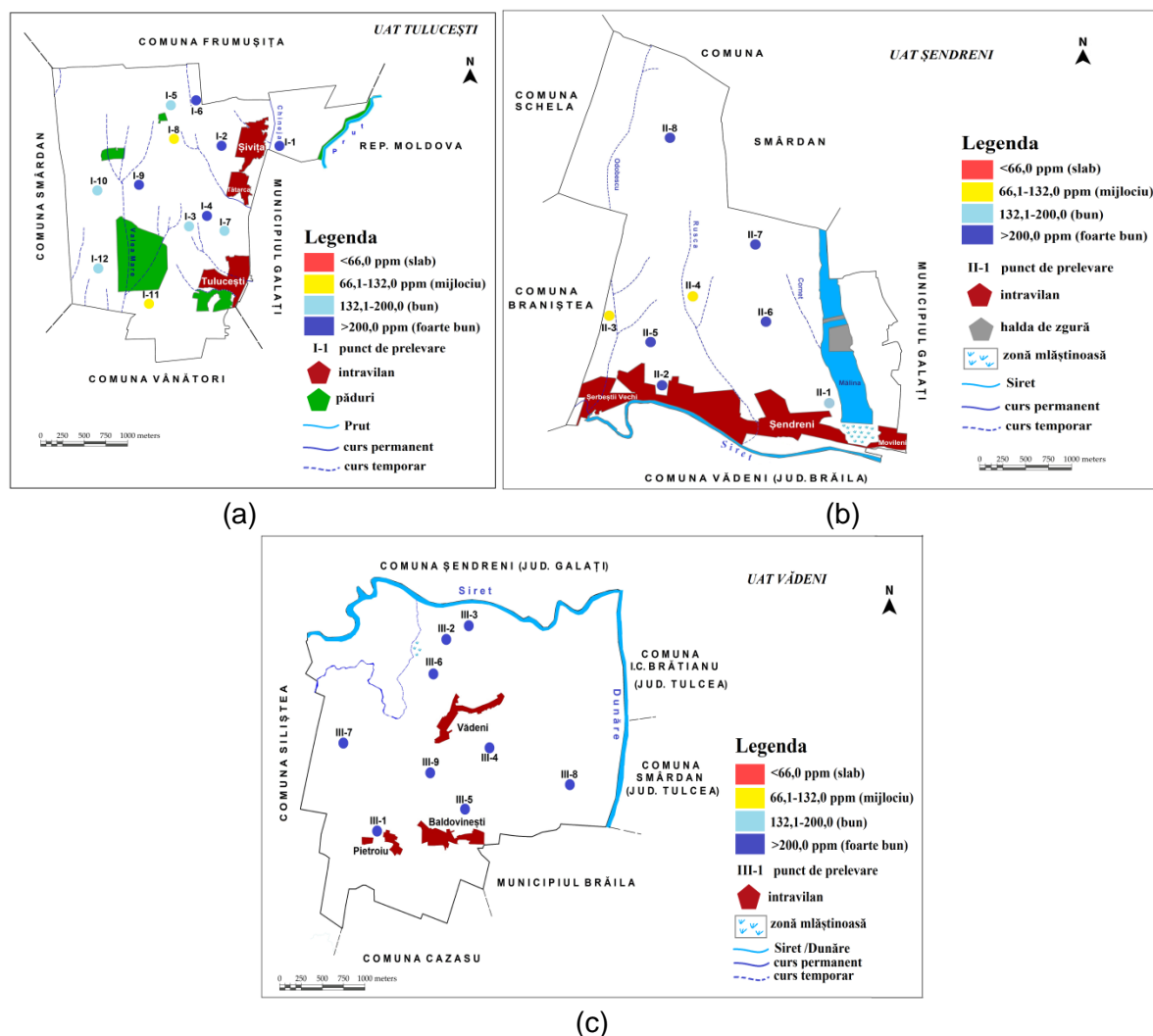


Figura 4.6 Conținutul de potasiu mobil pe adâncimea de 0-30 cm a solului terenurilor cu folosința arabil: (a) teritoriul Tulucești, (b) teritoriul Șendreni, (c) teritoriul Vădeni (prelucrare după [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020 a, b], [Moraru, S.S. și Ene, A., 2020])

Datele privind conținutul de potasiu mobil, în stratul arabil 0-30 cm al solurilor agricole de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni, au fost prezentate în cadrul conferințelor internaționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019c], [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020] și publicate în lucrarea [Arbaș (Moraru), S.S. ș. a., 2020b].

4.7 Concluzii parțiale

Prin evaluarea principalilor indici agrochimici se poate aprecia nivelul de fertilitate a solului. Azotul, humusul, fosforul, potasiul și reacția solului sunt indicii de bază implicați în dezvoltarea optimă a plantelor cultivate, iar menținerea lor într-un echilibru are drept rezultat obținerea unor producții optime economic și valoroase din punct de vedere nutritiv. Cartarea agrochimică a stratului agricol 0-30 cm aferent solurilor cultivate cu grâu, porumb și floarea soarelui din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați a evidențiat următoarele:

- Indicii agrochimici analizați nu variază în limite foarte largi pe cele trei teritorii, ceea ce arată o exploatare îndelungată, fără gestionarea responsabilă a solului;

- Din punct de vedere al reacției, se constată că, pe ansamblu, solurile sunt slab alcaline. Această reacție este ușor ridicată față de optimul preferat de majoritatea culturilor de câmp.

- În ceea ce privește aprovizionarea solului cu nutrienți, rezultatele analitice au evidențiat dezechilibre. Astfel, nivelul de azot se află în limitele foarte slab-slab (după valorile azotului total Kjeldahl) și slab-moderat (după valorile IN). Conținutul de humus este mic-mijlociu, raportat la clasele texturale ale solului, ceea ce induce susceptibilitatea solului la eroziune, având în vedere că humusul îndeplinește, printre altele, și rolul de liant pentru agregatele structurale.

- Conținutul de fosfor mobil se situează în limitele slab-foarte bine, în timp ce nivelul de potasiu mobil se află în intervalul mijlociu-foarte bine.

- Datorită dezechilibrului dintre elementele nutritive este necesară fertilizarea solurilor cu doze de îngrășăminte minerale și organice în acord cu proprietățile fizico-chimice ale solului, culturile premergătoare, culturile planificate, recoltele propuse a fi obținute.

Datele privind conținutul de privind conținutul de elemente nutritive în stratul arabil 0-30 cm al solurilor terenurilor arabile de pe teritoriile Tuluțești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate în cadrul conferințelor internaționale [Arbanaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020a], [Moraru, S.-S. și Ene, A., 2020] și publicate în lucrarea [Arbanaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2020b].

5. CERCETĂRI PRIVIND CONCENTRAȚIA MICRO ȘI MACROELEMENTELOR ÎN SOLURILE ȘI PLANTELE AGRICOLE DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI

5.1. Concentrația micro și macroelementelor în sol

Prezența metalelor grele în sol poate avea sursă naturală, prin dobândirea lor de la materialul parțial pe baza căruia s-a format și evoluat, dar și sursă antropogenă. Poluarea solului cu metale grele poate fi explicată prin dezvoltarea extraordinară pe care industria a cunoscut-o în ultimele decenii, însă o sursă importantă de contaminare sunt și agricultura (îngrășăminte chimice, pesticide, produse fitosanitare, apa de irigat), traficul rutier, exploatarea minieră. Impactul pe care îl au elementele toxice asupra mediului și calității vieții a fost demonstrat deja de numeroase studii [Orisakwe, O.E. ș. a., 2012], [Ali, H. ș. a., 2019], [Kacholi, D.S. și Sahu, M., 2018], [Tóth, T. ș. a., 2009], [Krailertrattanachai, N. ș. a., 2019], iar cercetările continuă, având în vedere că nu se cunosc încă toate implicațiile pe care elementele toxice le pot avea mai ales prin acțiunea lor conjugată. Deși unele elemente sunt considerate esențiale pentru desfășurarea în condiții optime a proceselor fiziologice (Zn, Mn, Cr, Cu, Co, Ni, Fe), în concentrații mai mari decât cele normale pot genera apariția unor maladii la nivelul populației umane sau pot avea ca rezultat perturbări în dezvoltarea normală a plantelor și animalelor [Arif, N. ș. a., 2016], [Kumar, A. ș. a., 2020], [Nriagu, J., 2011], [Goldhaber, S.B., 2003], [Khan, A. ș. a., 2015].

Datele privind concentrația de metale grele, pe adâncimile standard 0-5 cm și 5-30 cm, în solurile de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate parțial în cadrul conferințelor internaționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019c, d], [Ene, A. ș. a., 2019e], [Moraru, S.S. ș. a., 2019c] și publicate parțial în lucrările [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019e], [Ene, A. ș. a., 2019f].

5.1.1. Rezultate obținute prin spectrometrie de absorbție atomică de înaltă rezoluție cu sursă continuă (HR-CS AAS)

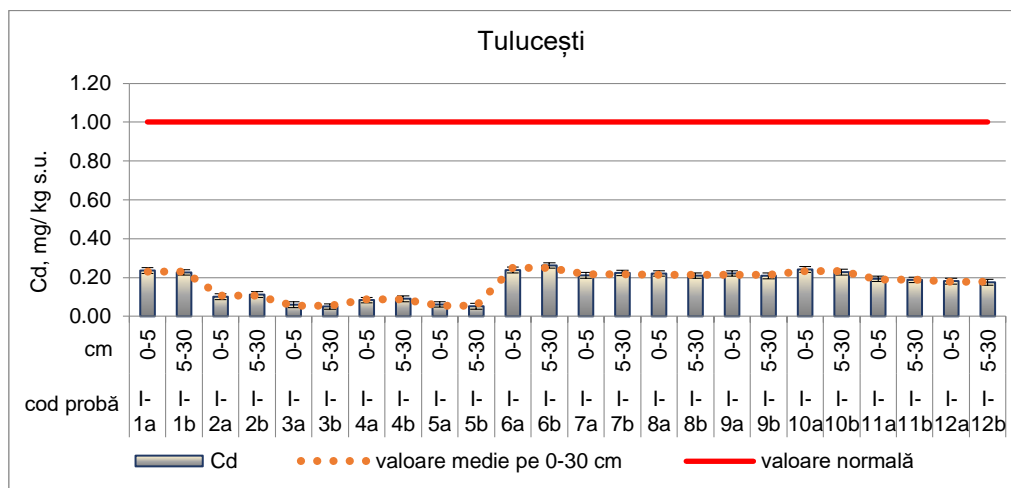
Cadmiul în sol

Pentru cele trei teritorii studiate, concentrația medie de Cd în solurile agricole nu a depășit limitele normale prevăzute de [Ordin nr. 756/1997] și este situată sub valoarea medie raportată la nivel european și național. Nivelul de Cd pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm ale solurilor agricole variază astfel:

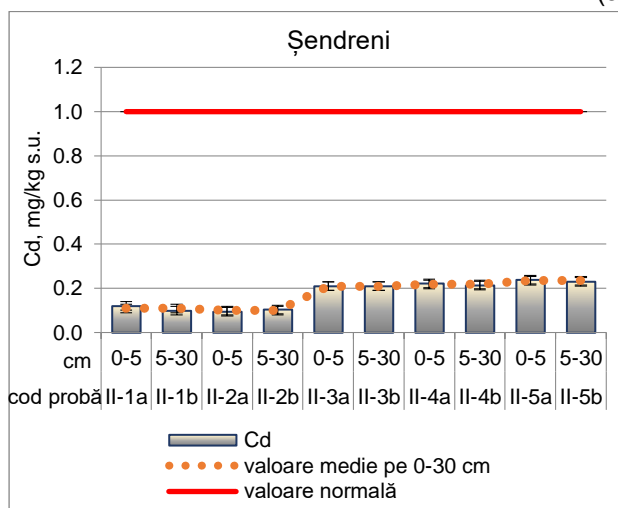
- Pe teritoriul Tulucești, solurile agricole studiate prezintă un conținut mediu de Cd, care variază în limitele $0,060 \pm 0,002$ - $0,241 \pm 0,007$ mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și în limitele $0,051 \pm 0,001$ - $0,262 \pm 0,007$ mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm. Figura 5.1a redă variația concentrației de Cd pe cele două adâncimi studiate.

- Pe teritoriul Șendreni, conținutul mediu de Cd variază între $0,142 \pm 0,001$ și $0,239 \pm 0,005$ mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și între $0,130 \pm 0,002$ și $0,231 \pm 0,014$ mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm. Figura 5.1b indică distribuția concentrațiilor de Cd pe cele două adâncimi.

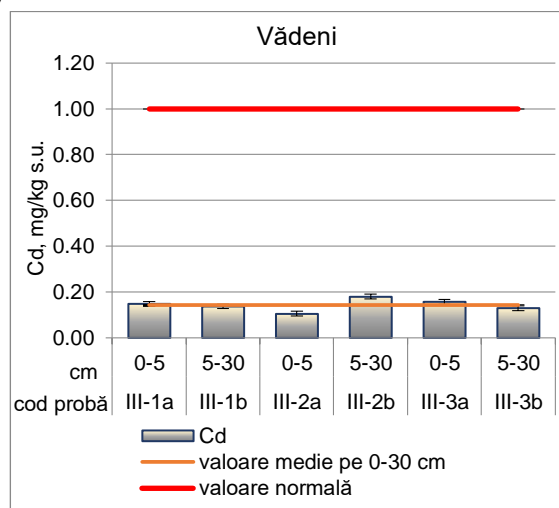
- Pe teritoriul Vădeni, nivelul mediu de Cd în solurile de pe terenurile arabile se situează între $0,127 \pm 0,001$ și $0,157 \pm 0,003$ mg/kg s.u. în stratul 0-5 cm și între $0,108 \pm 0,001$ și $0,155 \pm 0,001$ mg/kg s.u. în stratul 5-30 cm. Figura 5.1c redă variația conținutului mediu de Cd în stratele 0-5 cm și 5-30 cm.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.1 Variația concentrației medii de Cd în raport cu valoarea normală, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

Cobaltul în sol

Rezultatele analitice pentru concentrația de Co în stratul agricol al solurilor de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni au evidențiat faptul că nivelul acestui element *nu depășește valorile normale* prevăzute în [Ordin nr. 756/1997]. De menționat este că pe arealul studiat, între cele două adâncimi, nu există variații semnificative ale valorilor, acestea situându-se sub media națională. Dinamica acestui element pe adâncimile standard 0-5 cm și 5-30 cm este ilustrată în Figura 5.2.

În stratul agricol al solurilor aparținând celor trei teritorii, conținutul mediu de Co variază astfel:

- Pe teritoriul *Tulucești* concentrația Co variază între $2,873 \pm 0,451$ și $11,060 \pm 0,150$ mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm și între $5,380 \pm 0,117$ și $11,702 \pm 0,256$ mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.
- Pe teritoriul *Șendreni*, Co prezintă valori de $5,141 \pm 0,715$ - $8,833 \pm 0,141$ mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și de $5,537 \pm 0,082$ - $8,811 \pm 0,162$ mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm.

- Pe *teritoriul Vădeni*, conținutul de Co se situează între $5,289 \pm 0,123$ - $11,190 \pm 0,225$ mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și între $4,876 \pm 0,123$ - $10,060 \pm 0,225$ mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm.

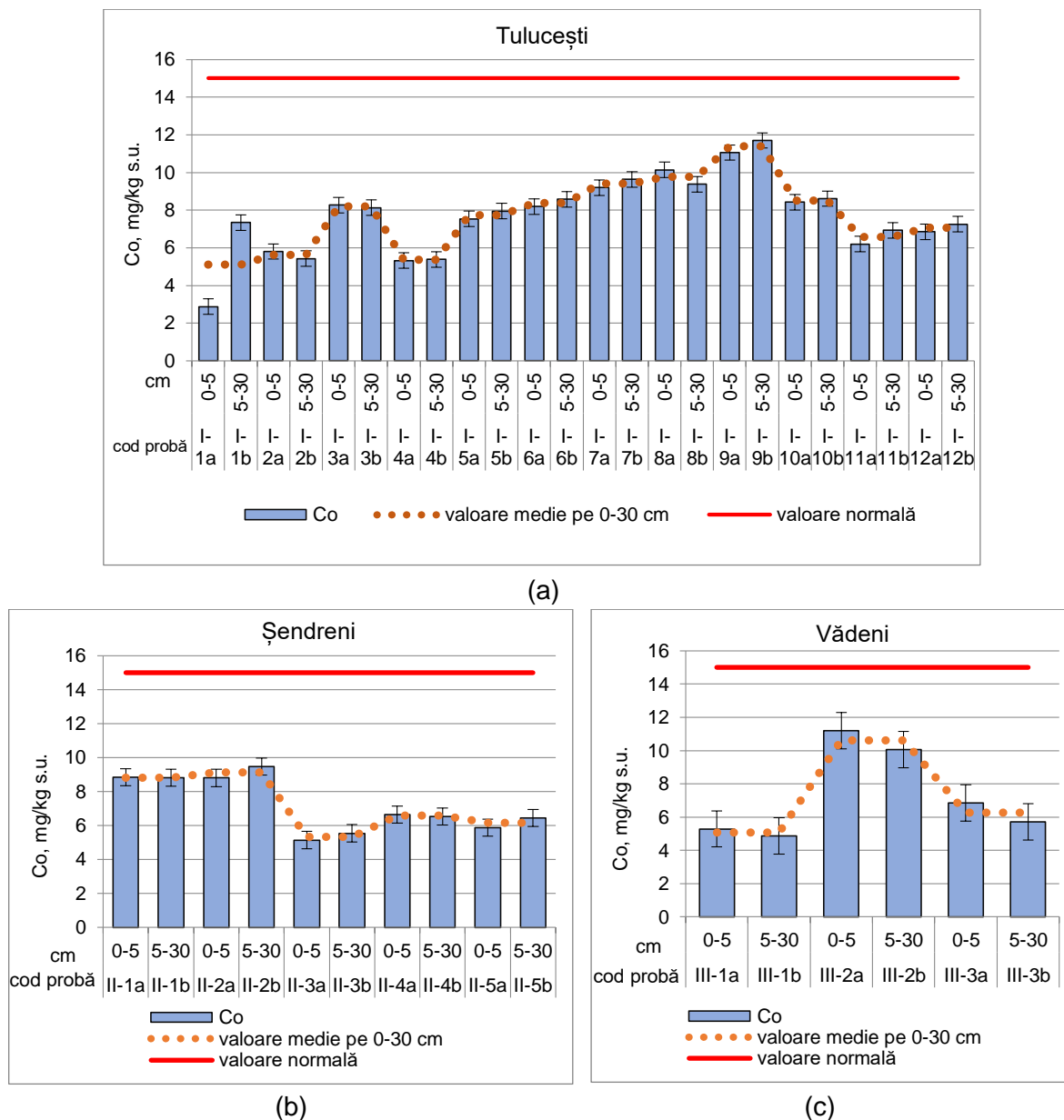
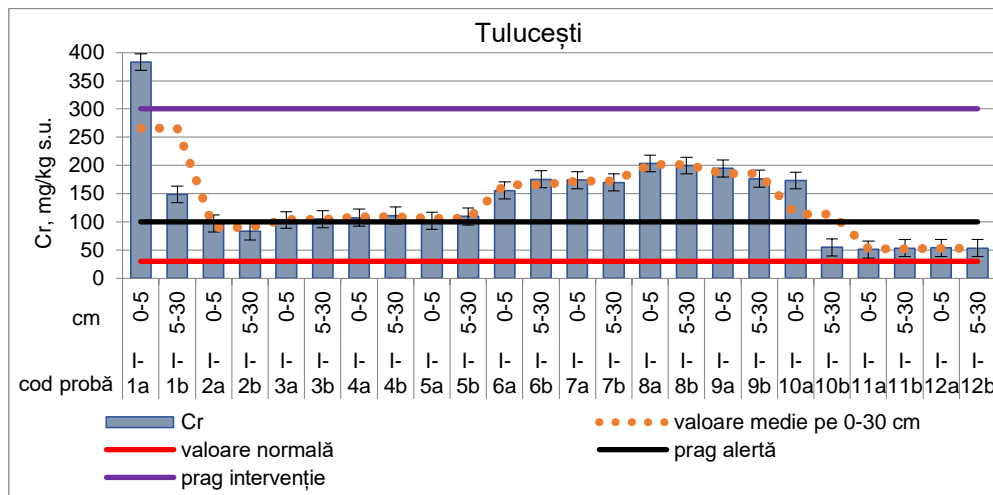


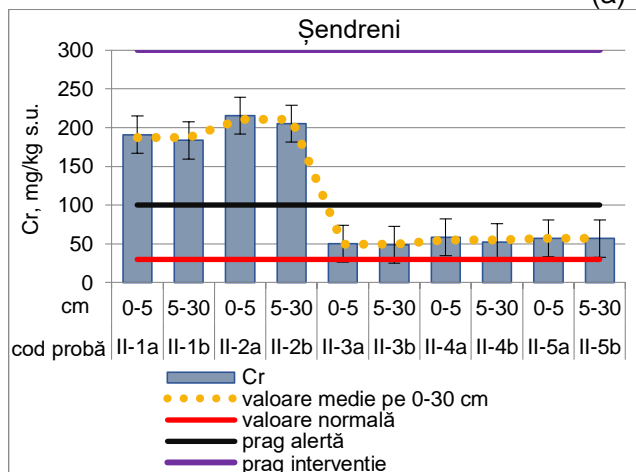
Figura 5.2 Variația concentrației medii de Co în raport cu valoarea normală, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

Cromul în sol

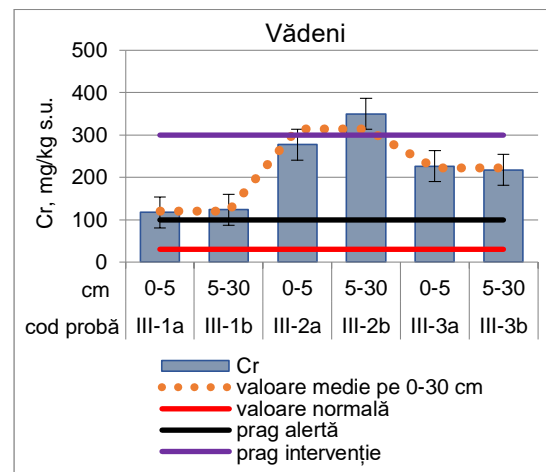
În comparație cu alte metale cercetate în prezenta lucrare, **Cr prezintă valorile cele mai ridicate, depășind limitele normale** (30 mg/kg s.u.). Pentru arealul studiat, concentrația acestui element variază de la $48,620 \pm 0,831$ mg/kg s.u., la nord de intravilan Șerbeștii Vechi, comuna Șendreni, la $383.100 \pm 5,378$ mg/kg s.u., în lunca Prutului, în estul satului Șivița, comuna Tulucești. Situația variației cromului, pe cele trei teritorii studiate, este redată în Figura 5.3.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.3 Variația concentrației medii de Cr în raport cu valoarea normală, pragul de alertă și pragul de intervenție, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

În stratul agricol nivelul de Cr variază astfel:

- Pe *teritoriul Tulucești* **66,67%** din probele analizate **depășesc pragul de alertă pentru folosințe sensibile, ceea ce reprezintă un nivel de poluare potențial semnificativ**, 29,16 % se situează între valoarea normală și pragul de alertă pentru folosințe sensibile, iar **4,17 %** din probe **depășesc pragul de intervenție pentru folosințe sensibile, ceea ce reprezintă o poluare semnificativă**. Pe adâncimea de 0-5 cm, concentrația de Cr în solurile agricole variază de la $51,300 \pm 0,320$ mg/kg s.u. la $383,100 \pm 5,378$ mg/kg s.u., iar în stratul 5-30 cm, de la $53,590 \pm 1,293$ mg/kg s.u. la $199,900 \pm 1,988$ mg/kg s.u.

- Pe *teritoriul Șendreni* concentrația Cr, atât în stratul 0-5 cm, cât și în stratul 5-30 cm, **depășește valoarea normală, dar și pragul de alertă pentru folosințe sensibile (poluare potențial semnificativă)**. Astfel, pentru stratul 0-5 cm, concentrația de Cr este în limitele $50,210 \pm 0,782$ - $215,400 \pm 5,758$ mg/kg s.u., iar pentru stratul 5-30 cm, se situează între $48,620 \pm 0,831$ - $205,300 \pm 6,398$ mg/kg s.u.

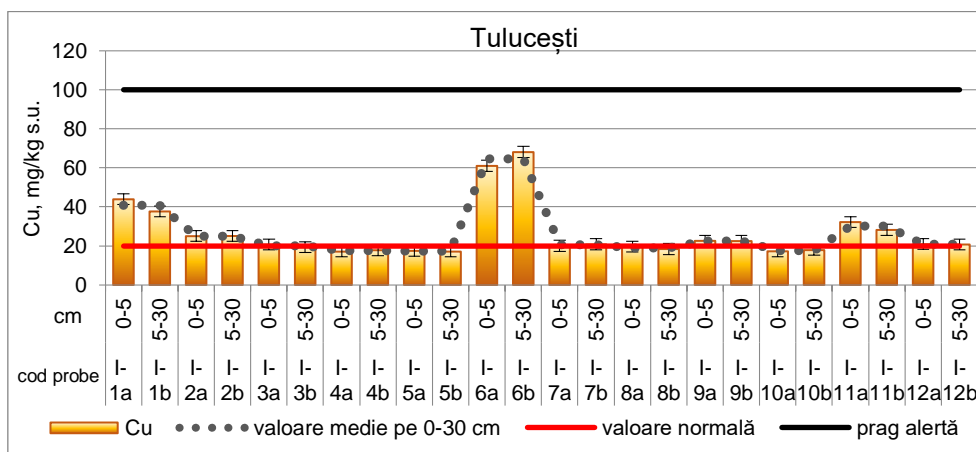
- Pe *teritoriul Vădeni* conținutul de Cr, atât pe adâncimea 0-5 cm, cât și în stratul 5-30 cm, **depășește pragul de alertă pentru folosințe sensibile (poluare potențial semnificativă)**. În punctul de prelevare III-2b (5-30 cm), **concentrația de Cr depășește pragul de intervenție pentru folosințe sensibile (poluare semnificativă)**, având o valoare

de 349,600 mg/kg s.u. În stratul 0-5 cm valorile sunt cuprinse între 117,100±1,039-277,400±6,144 mg/kg s.u., iar în stratul 5-30 cm, între 123,400±2,345- 349,600±5,840 mg/kg s.u.

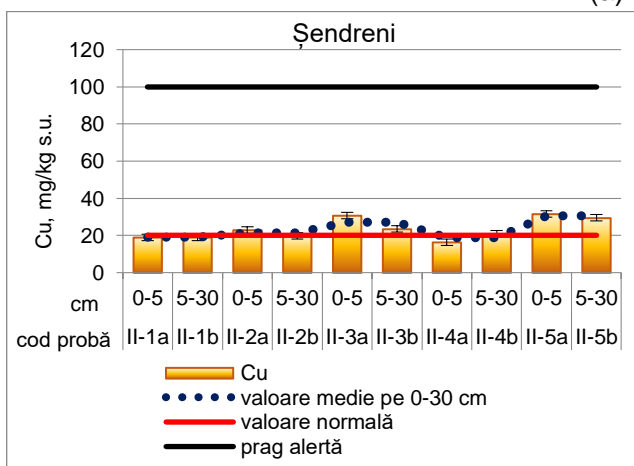
Cuprul în sol

Conținutul mediu de Cu în stratul agricol al solurilor de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni este ilustrat în Figura 5.4. Pentru arealul studiat, acest element prezintă variații ale concentrației, în unele zone depășind limita normală prevăzută în legislația în vigoare, dar nu ating pragul de alertă pentru folosințe sensibile (agricole). Rezultatele analitice pentru cele trei teritorii au pus în evidență următoarele:

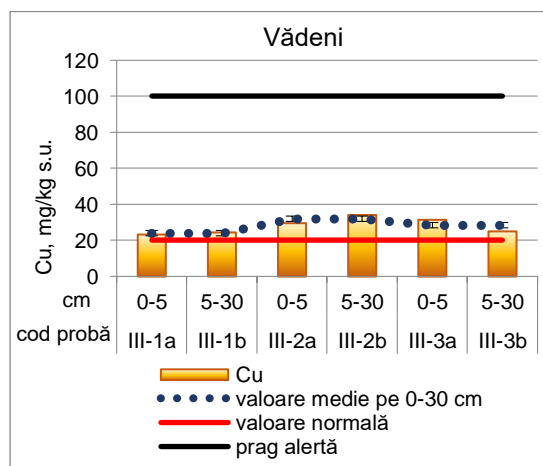
- Pe teritoriul Tulucești pentru **62,50 % din probele analizate, concentrația de Cu depășește valoarea normală de 20 mg/kg s.u.**. Concentrația medie pe 0-5 cm este de 26,507±0,175 mg/kg s.u., iar pentru 5-30 cm, de 26,162±0,200 mg/kg s.u.
- Pe teritoriul Șendreni pentru **60% din probele analizate, concentrația de Cu depășește valoarea normală**. Valoare medie pe adâncimea 0-5 cm este de 24,107±0,175 mg/kg s.u., iar pentru adâncimea 5-30 cm, de 22,520±0,175 mg/kg s.u.
- Pe teritoriul Vădeni, **toate probele analizate depășesc valoarea normală**. Astfel, în stratul 0-5 cm, concentrația de Cu este de 23,350±0,495-31,510±0,256 mg/kg s.u., în timp ce în stratul 5-30 cm, aceasta înregistrează valori de 24,510±0,168-34,180±0,217 mg/kg s.u.



(a)



(b)



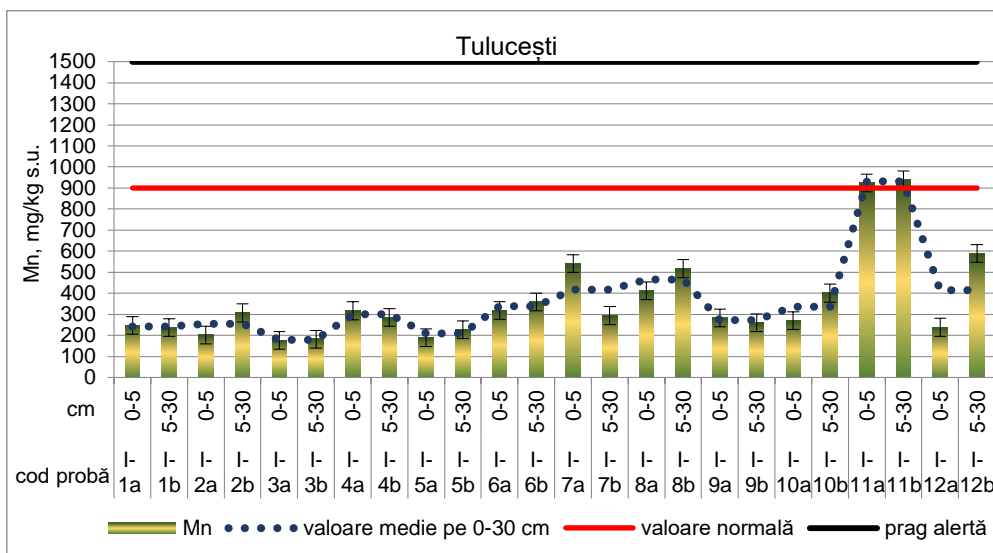
(c)

Figura 5.4 Variația concentrației medii de Cu în raport cu valoarea normală și pragul de alertă, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

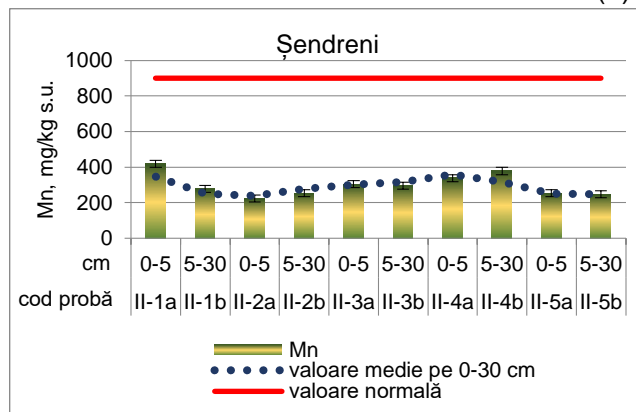
Manganul în sol

Concentrația medie de Mn în solurile arabile din comunele Tulucești, Șendreni și Vădeni se încadrează, pe ansamblu, în limita normală stabilită prin [Ordin nr. 756/1997]. Figura 5.5 indică dinamica conținutului de Mn pe cele trei teritorii. În ceea ce privește distribuția și variația concentrațiilor de Mn pe fiecare teritoriu situația este următoarea:

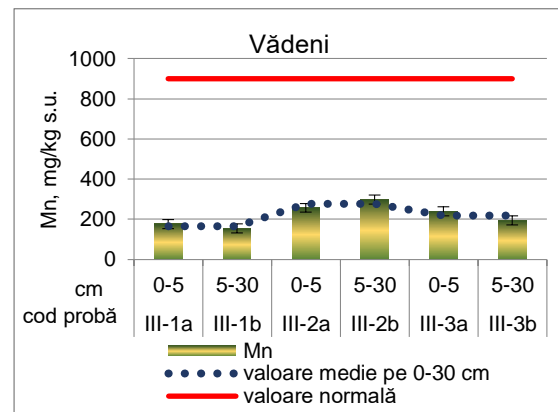
- Pe teritoriul Tulucești, conținutul mediu de Mn în stratul agricol variază de la 177,045±3,869 la 924,244±14,760 mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și de la 182,245±2,313 la 938,145±12,860 mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.
- Pe teritoriul Șendreni, concentrația medie de Mn nu depășește limita normală prevăzută de legislația în vigoare. În solul agricol, nivelul Mn este cuprins între 223,446±5,828 și 417,846±9,798 mg/kg s.u., pe adâncimea 0-5 cm, și între 247,045±4,233 și 377,645±3,334 mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm.
- Pe teritoriul Vădeni, solurile agricole cercetate prezintă valori medii ale nivelului de Mn similare teritoriilor Tulucești și Șendreni. Rezultatele obținute pentru acest element sunt cu mult sub valoarea normală menționată în legislație. În stratul 0-5 cm, conținutul de Mn variază în limitele 176,146±2,548- 256,646±11,610 mg/kg s.u., iar în stratul 5-30 cm, între 153,845±2,848 și 297,745±4,852 mg/kg s.u.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.5 Variația concentrației medii de Mn în raport cu valoarea normală, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

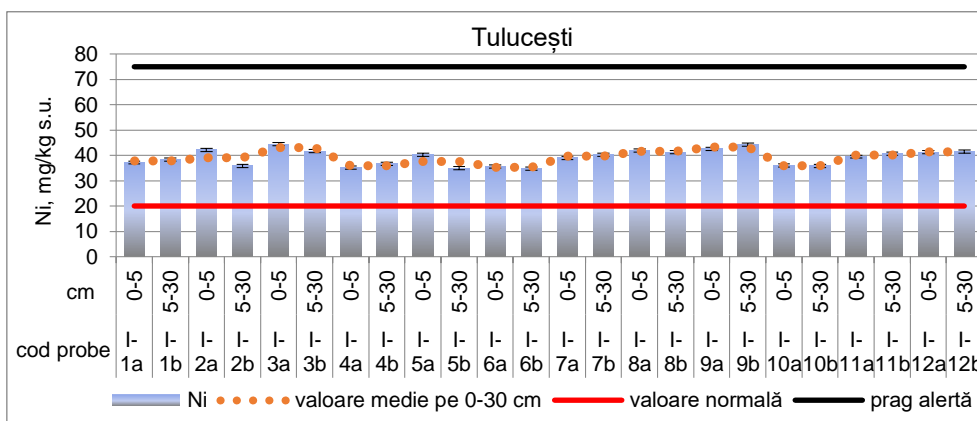
Nichelul în sol

Concentrația medie de Ni în solurile agricole cercetate **depășește valorile normale pentru toate probele analizate**. Dinamica nivelului de Ni pe cele două adâncimi considerate este redată în Figura 5.6. Pe teritoriile studiate, concentrația nichelului prezintă următoarea situație:

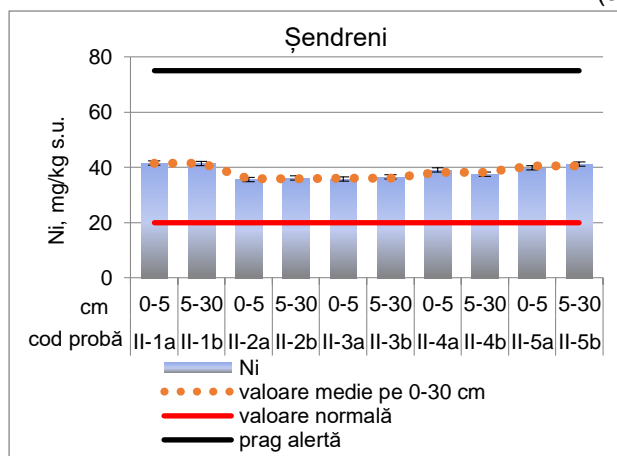
- Pe *teritoriul Tulucești* conținutul de Ni **depășește de la 1,7 până la 2 ori conținutul normal** de 20 mg/kg s.u., dar nu atinge pragul de alertă pentru folosințe sensibile. În stratul 0-5 cm concentrația este de $35,265 \pm 0,776 - 44,455 \pm 0,356$ mg/kg s.u., iar în stratul 5-30 cm, de $34,881 \pm 0,113 - 44,212 \pm 0,369$ mg/kg s.u.

- Pe *teritoriul Șendreni*, conținutul de Ni este similar celui înregistrat pentru solurile agricole din Tulucești. Variația pe adâncimi a Ni este următoarea: pentru 0-5 cm, Ni se situează în limitele $35,541 \pm 0,569 - 41,570 \pm 0,291$ mg/kg s.u., iar pentru 5-30 cm, este în limitele $36,199 \pm 0,833 - 41,446 \pm 0,373$ mg/kg s.u.

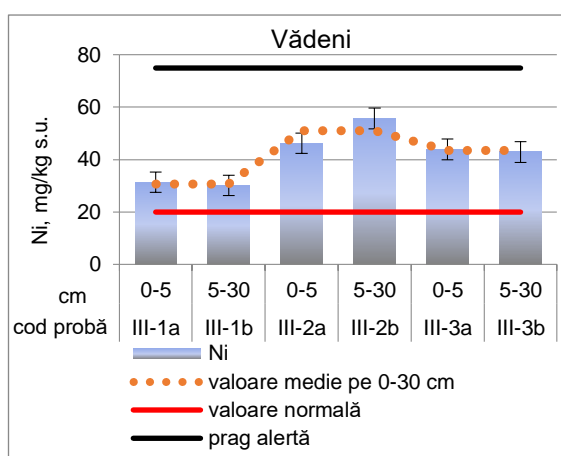
- Pe *teritoriul Vădeni*, concentrația de Ni în stratul agricol este ușor mai ridicat decât în celelalte teritorii studiate, depășind de 1,6-2,8 ori valoarea normală, dar nu atinge pragul de alertă pentru folosințe sensibile (agricole). Conținutul de Ni înregistrează valori de $31,338 \pm 0,094 - 46,197 \pm 0,416$ mg/kg s.u., în stratul 0-5 cm, și valori de $30,157 \pm 0,633 - 55,656 \pm 0,167$ mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.



(a)



(b)



(c)

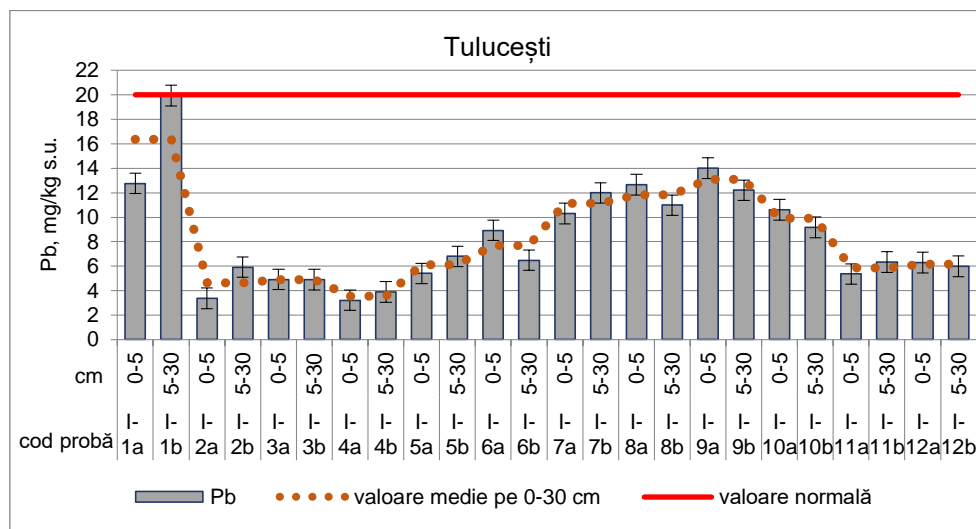
Figura 5.6 Variația concentrației medii de Ni în raport cu valoarea normală și pragul de alertă, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil:

(a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

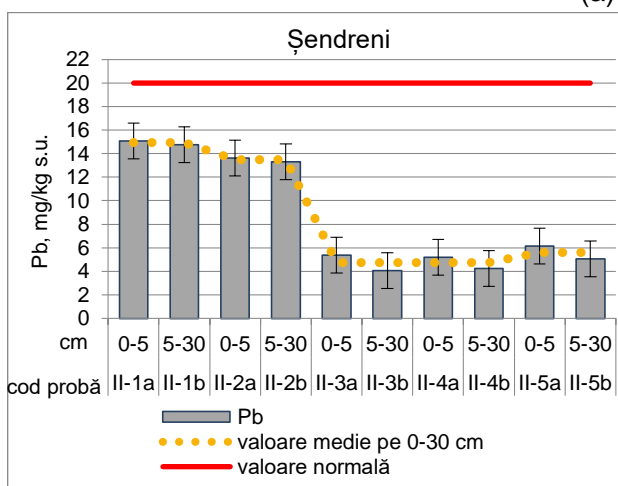
Plumbul în sol

Concentrația de Pb pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni se situează în limite normale, fără variații semnificative pe verticală. Variația concentrației de Pb, pe cele două adâncimi standard, este prezentată în Figura 5.7. Pentru fiecare teritoriu situația plumbului în stratul superior al solurilor agricole este următoarea:

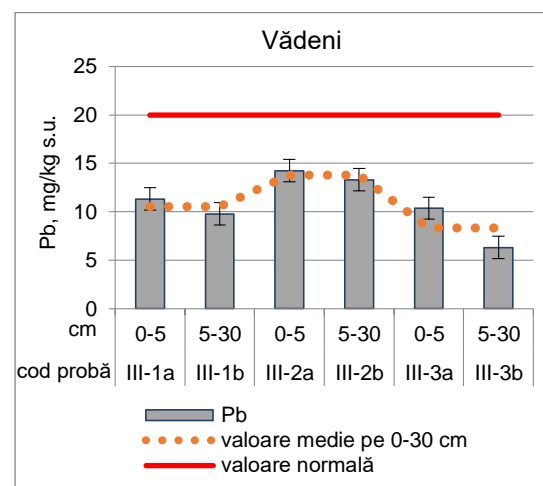
- Pe teritoriul Tulucești conținutul mediu de Pb, pe adâncimea 0-5 cm, se află în limitele $3,207 \pm 0,128$ - $14,021 \pm 0,112$ mg/kg s.u., iar pe adâncimea 5-30 cm, între $3,902 \pm 0,382$ - $19,940 \pm 1,314$ mg/kg s.u.
- Pe teritoriul Șendreni, plumbul înregistrează valori medii de $5,216 \pm 0,125$ - $15,070 \pm 0,255$ mg/kg s.u., în stratul 0-5 cm, și valori de $4,075 \pm 0,192$ - $14,760 \pm 0,503$ mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.
- Pe teritoriul Vădeni, conținutul mediu de Pb se situează în limitele $10,370 \pm 0,767$ - $14,250 \pm 0,354$ mg/kg s.u., în stratul 0-5 cm, și $6,308 \pm 0,432$ - $13,310 \pm 0,653$ mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.



(a)



(b)



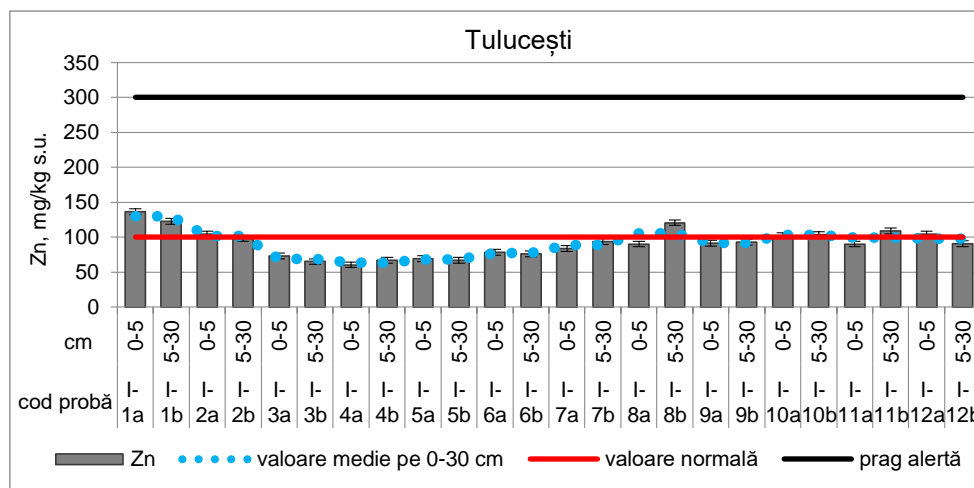
(c)

Figura 5.7 Variația concentrației medii de Pb în raport cu valoarea normală, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil: (a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

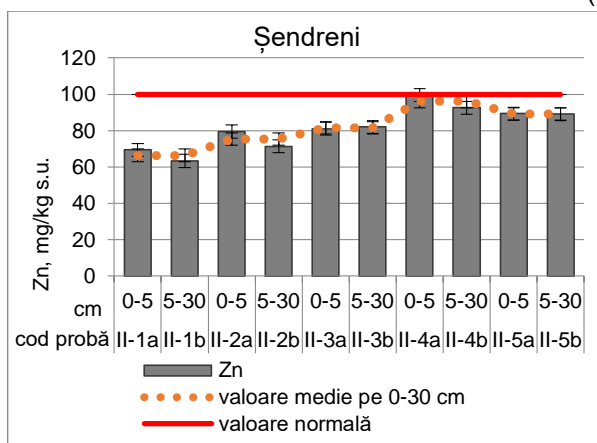
Zincul în sol

Conținutul mediu de Zn în solurile agricole investigate se încadrează, pe ansamblu, în limite normale, excepție făcând câteva zone de pe teritoriile Tulucești și Vădeni, unde concentrația depășește limita normală de 100 mg/kg s.u. Figura 5.8 redă variația conținutului mediu de Zn în stratul superior al solurilor agricole de pe teritoriile studiate. Situația nivelului mediu de Zn în solurile terenurilor arabile de pe cele trei teritorii analizate este următoarea:

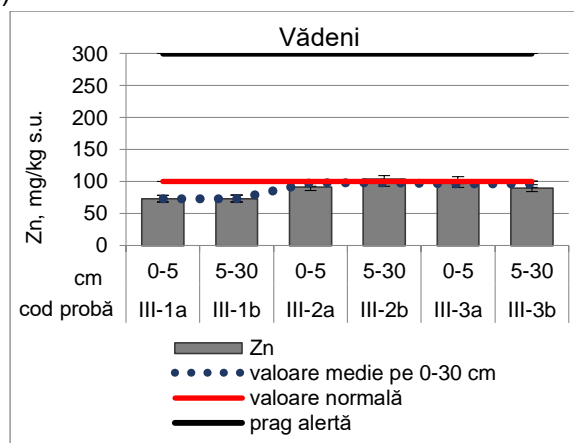
- Pe teritoriul Tulucești, conținutul mediu de Zn este **mai mare decât valoarea normală, dar nu atinge pragul de alertă pentru folosințe sensibile**. Pe ansamblu, conținutul mediu de Zn se află în limitele 60,395±1,751-136,586±1,229 mg/kg s.u., în stratul 0-5 cm, și 65,145±0,847-122,690±2,252 mg/kg s.u., pe adâncimea 5-30 cm.
- Pe teritoriul Șendreni, concentrația medie de Zn se încadrează în limite normale. În stratul 0-5 cm, nivelul mediu de Zn este în intervalul 69,370±2,034-99,590±0,571 mg/kg s.u., iar în stratul 5-30 cm, este de 63,306±1,805- 92,579±0,898 mg/kg s.u.
- Pe teritoriul Vădeni, conținutul mediu de Zn este similar celorlalte două teritorii, înregistrând valori de 73,098±0,363-102,587±0,718 mg/kg s.u., în stratul 0-5 cm, și valori de 73,457±0,850-103,886±0,325 mg/kg s.u., în stratul 5-30 cm.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.8 Variația concentrației medii de Zn în raport cu valoarea normală și pragul de alertă, pe adâncimile 0-5 cm, 5-30 cm și 0-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil:

(a) Tulucești, (b) Șendreni, (c) Vădeni

5.1.2. Rezultate obținute prin spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS)

Pentru evaluarea impactului antropogenic asupra solurilor agricole din vecinătatea complexului industrial siderurgic, analizele privind concentrațiile macro și microelementelor toxice sau potențial toxic au fost completate prin aplicarea tehnicii ICP-MS pentru determinarea nivelului izotopilor stabili ai metalelor prezenți în probele de mediu selectate. S-au identificat următorii izotopi stabili ai metalelor: ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd , ^{59}Co , ^{52}Cr , ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{55}Mn , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{64}Zn , ^{66}Zn și ^{68}Zn .

În Figurile 5.9, 5.10 și 5.11 este redată variația concentrațiilor medii ale izotopilor stabili în solurile agricole selectate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni aflate în vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați.

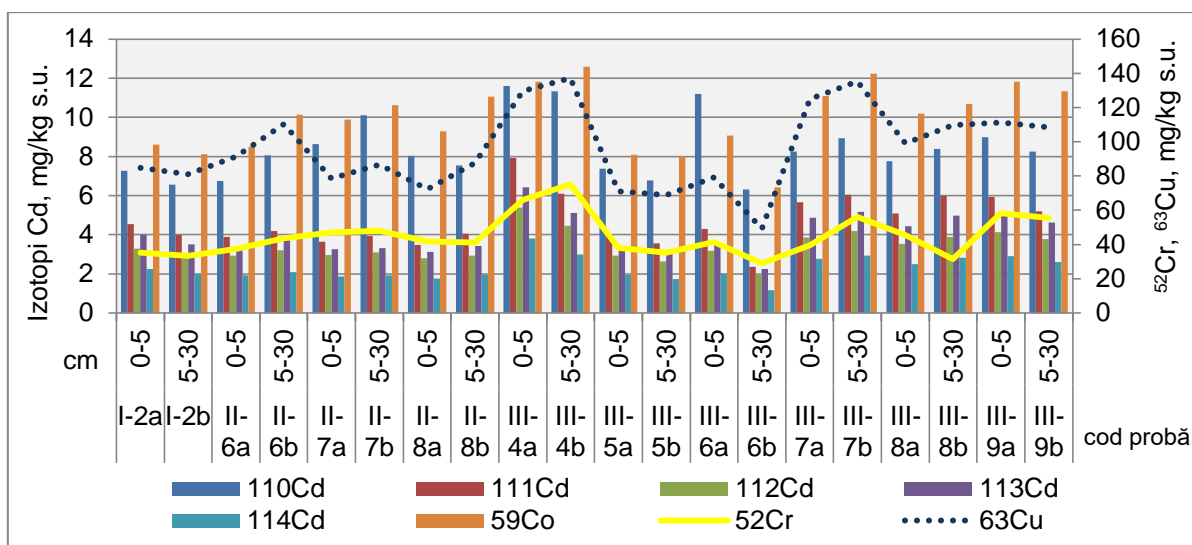


Figura 5.9 Variația concentrațiilor medii de ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd , ^{59}Co , ^{52}Cr și ^{63}Cu , pe adâncimea 0-5 cm și 5-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil selectate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

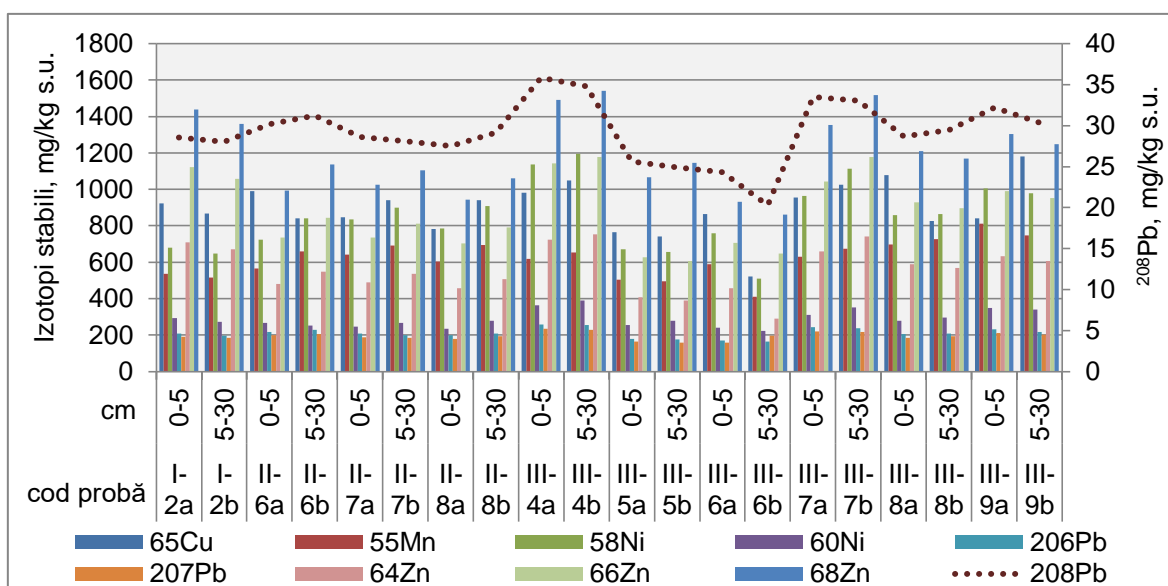


Figura 5.10 Variația concentrațiilor medii de ^{65}Cu , ^{55}Mn , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{64}Zn , ^{66}Zn și ^{68}Zn , pe adâncimea 0-5 cm și 5-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil selectate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

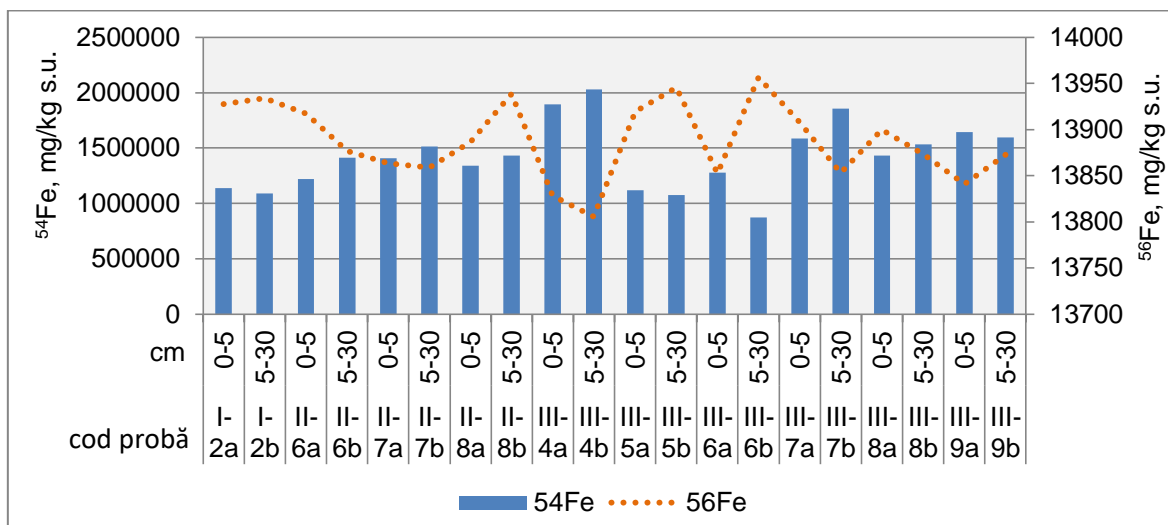


Figura 5.11 Variația concentrațiilor medii de ^{54}Fe și ^{56}Fe , pe adâncimea 0-5 cm și 5-30 cm, în solul terenurilor cu folosința arabil selectate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Studiul izotopilor stabili s-a dovedit a foarte util pentru aprecierea formelor schimbabile ale metalelor grele și elementelor urmă din sol [Ayoub, A.S. ș. a., 2003], [Oliver, Y.W. ș. a., 2006], precum și în identificarea sursei de poluare [Wang, L.W. ș. a., 2021], [Rabinowitz, M.B. ș. a., 1972]. Pentru solurile analizate s-au constatat următoarele:

- Concentrația izotopilor stabili identificați în sol nu prezintă variații semnificative între cele trei teritorii și între cele două adâncimi standard, 0-5 cm și 5-30 cm, iar pe ansamblu rezultatele analitice au evidențiat o omogenitate a valorilor.

- Dintre cei șase izotopi stabili ai Cd, în solurile analizate (0-30 cm) au fost identificați: ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{113}Cd , ^{112}Cd și ^{114}Cd . Pe ansamblu, se observă că pe teritoriul Tulucești, solurile prezintă concentrații medii mai mari ale izotopilor Cd în stratul superior de 0-5 cm față de stratul de 5-30 cm. Solurile de pe teritoriul Șendreni sunt caracterizate de valori mai mari în stratul 5-30 cm față de stratul superior de 0-5 cm, iar pe teritoriul Vădeni se remarcă o tendință de acumulare în stratul superior 0-5 cm, în solurile situate pe direcția sud-vestică față de Combinatul Siderurgic Galați, pe o linie imaginară situată între extremitatea nord-estică a Vădenilor și satul Baldovinești. În zonele limitrofe ale teritoriului Vădeni, conținutul izotopilor de Cd este mai mare în stratul subiacent 5-30 cm, față de cel superior de 0-5 cm.

- Acumularea izotopului ^{59}Co în solurile de pe teritoriul Tulucești și Șendreni este asemănătoare, valorile cele mai mari fiind înregistrate în stratul 5-30 cm. Pe teritoriul Vădeni, izotopul ^{59}Co prezintă aceeași tendință de acumulare ca izotopii stabili ai Cd, respectiv o concentrare mai mare în stratul subiacent 5-30 cm, în zonele extreme, estică și vestică a teritoriului, iar în zona central-vestică, între Vădeni și Baldovinești, o acumulare mai ridicată în stratul superior de 0-5 cm.

- Dintre izotopii stabili ai Cr, în solurile analizate a fost identificat ^{52}Cr , care prezintă o tendință de acumulare în stratul superior de 0-5 cm pe toate teritoriile studiate.

- Pentru Cu s-au identificat ambii izotopi stabili, ^{63}Cu și ^{65}Cu . Pentru teritoriile Tulucești și Șendreni, se observă o acumulare mai mare, în stratul 0-5 cm, a izotopului ^{65}Cu față de izotopul ^{63}Cu . Solurile de pe teritoriul Vădeni prezintă aceeași tendință de acumulare mai mare în stratul superior de 0-5 cm, în zona situată între localitățile Vădeni și Baldovinești, restul teritoriului fiind caracterizat de valori mai ridicate pe adâncimea 5-30 cm.

- Dintre izotopii stabili ai fierului, în probele de sol analizate au fost identificați izotopii ^{54}Fe , ^{56}Fe . Concentrația izotopului ^{54}Fe este mai ridicată în stratul 0-5 cm decât în stratul 5-30 cm pe teritoriul Tulucești, în timp ce solurile agricole de pe teritoriile Șendreni și Vădeni prezintă o acumulare mai mare al acestui izotop în secțiunea 5-30 cm, cu excepția punctelor de prelevare III-5, III-6, III-9, aflate între Vădeni și Baldovinești, respectiv la nord-vest de Vădeni, unde conținutul de ^{54}Fe este mai mare în stratul 0-5 cm. Nivelul izotopului ^{56}Fe arată o distribuție fără variații importante pe adâncime și între cele trei teritorii studiate.

- Izotopul stabil ^{55}Mn prezintă o acumulare mai mare în stratul 5-30 cm pe toate teritoriile studiate. Pe teritoriul Vădeni, se observă o concentrație mai ridicată în stratul superior de 0-5 cm pe linia Vădeni-Baldovinești.

- Dintre izotopii stabili ai elementului Ni au fost identificați ^{58}Ni și ^{60}Ni . În timp ce izotopul ^{58}Ni prezintă concentrații mai scăzute în stratul 0-5 cm, excepție făcând zona situată între satele Vădeni și Baldovinești, izotopul ^{60}Ni înregistrează valori mai ridicate în stratul 5-30 cm.

- În ceea ce privește izotopii stabili ai elementului Pb, în solurile agricole studiate au fost identificați ^{206}Pb , ^{207}Pb și ^{208}Pb . Pentru toți izotopii stabili ai Pb, concentrațiile sunt mai ridicate în stratul superior de 0-5 cm.

- Dintre izotopii stabili ai Zn în solurile agricole analizate sunt prezenți ^{64}Zn , ^{66}Zn și ^{68}Zn . Pe ansamblu, se observă concentrații mai ridicate în stratul 5-30 cm, cu excepția solurilor aflate pe direcția Vădeni-Baldovinești, unde conținutul tuturor izotopilor stabili ai Zn prezintă valori mai mari în stratul 0-5 cm.

Evaluarea influenței factorilor antropici asupra solurilor agricole poate fi realizată și prin comparația rapoartelor concentrațiilor izotopilor prezenți în sol cu cele ale abundențelor naturale corespunzătoare acestora. Prin studiul acestor rapoarte poate fi identificată sursa poluării, variația concentrațiilor cu distanța față de sursa de contaminare [Wang, J. ș. a., 2021], [Chen, Z. ș. a., 2022], [Huang, Y. ș. a., 2021], influența proceselor fizico-chimice și biologice de la nivelul solului asupra amprentei izotopice [Gao, T. ș. a., 2021], [Schmitt, A.-D. ș. a., 2012], precum și variația concentrației izotopilor în profilul de sol [Baieta, R. ș. a., 2022].

Amprenta izotopică a cadmiului exprimată prin rapoartele izotopilor identificați ($^{114}\text{Cd}/^{110}\text{Cd}$, $^{114}\text{Cd}/^{111}\text{Cd}$, $^{114}\text{Cd}/^{112}\text{Cd}$, $^{114}\text{Cd}/^{113}\text{Cd}$, $^{113}\text{Cd}/^{110}\text{Cd}$, $^{113}\text{Cd}/^{111}\text{Cd}$, $^{112}\text{Cd}/^{111}\text{Cd}$, $^{112}\text{Cd}/^{110}\text{Cd}$, $^{111}\text{Cd}/^{110}\text{Cd}$) evidențiază că în solurile analizate valorile se situează, pe ansamblu, sub cele ale rapoartelor calculate pe baza abundențelor naturale. Excepție face amprenta izotopică a $^{113}\text{Cd}/^{112}\text{Cd}$, care prezintă valori mai mari decât raportul abundențelor naturale (0,5064), fără variații semnificative între cele două secțiuni (0-5 cm și 5-30 cm). Valorile mai ridicate pot fi puse pe seama utilizării îngrășămintelor chimice, mai ales a celor care conțin fosfați și care aduc un aport important de Cd în sol [Loganathan, P. ș. a., 2003], dar și pe seama depunerilor de particule încărcate cu Cd provenind din emisiile industriale [Yuan, Z. ș. a., 2019]. Amprenta izotopică a cuprului ($^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$) prezintă valori mult mai ridicate comparativ cu valoarea raportului abundențelor naturale (0,4461), ceea ce indică o potențială contaminare a solului din surse antropogene. Valorile raportului $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$ sunt asemănătoare pe toate cele trei teritorii studiate, fără variații notabile pe secțiuni.

Rezultatele raportului $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ se situează sub valoarea raportului abundențelor naturale (15,6838). Între cele trei teritorii nu se constată diferențe ale distribuției valorilor raportului izotopic $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$.

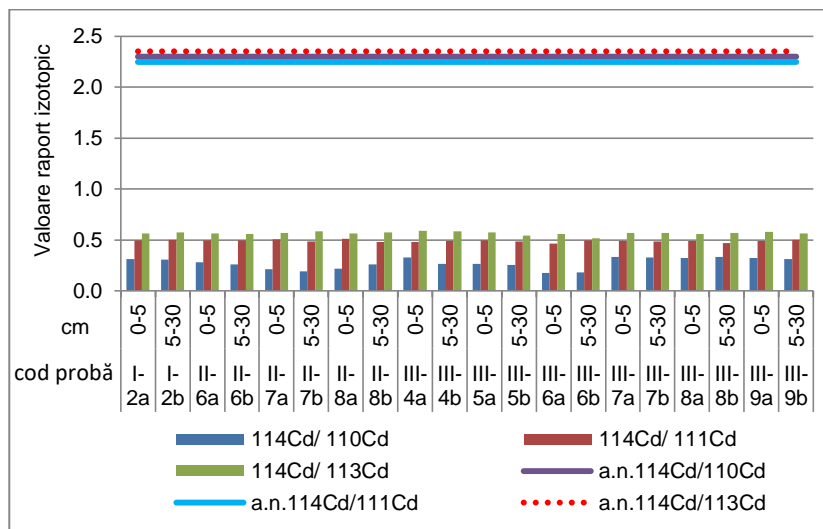
Raportul $^{60}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$ înregistrează, pe ansamblu, valori sub raportul abundențelor naturale (0,3852).

Amprentele izotopice ale plumbului pe baza $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ nu au evidențiat valori mai ridicate decât raportul abundențelor naturale, iar $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ prezintă valori în jurul valorii de 1,0905. Nu s-au constatat variații semnificative între cele trei teritorii studiate.

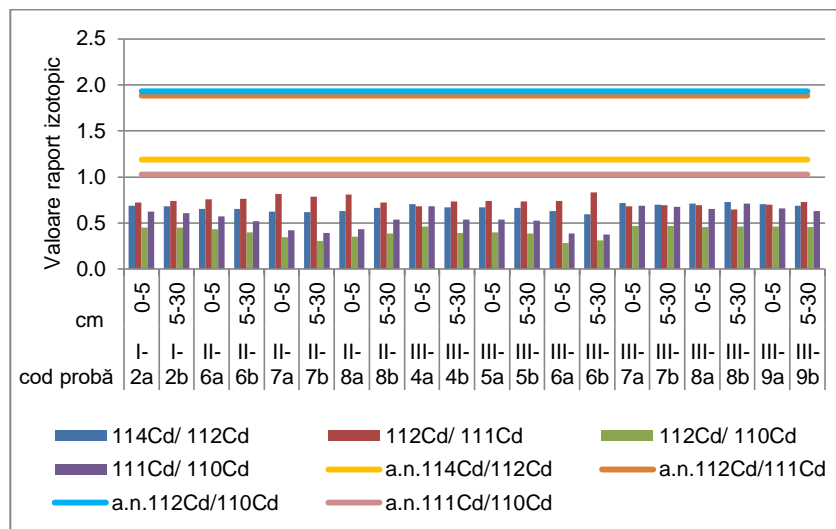
O situație distinctă este evidențiată de valorile raportului izotopic $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$, care înregistrează un nivel foarte ridicat față de raportul abundențelor naturale. Se constată că rezultatele amprentei izotopice pe baza $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ depășesc media europeană a acestui raport pentru solurile agricole (0,403 [Reimann, C. ș. a., 2012]).

În ceea ce privește zincul, valorile rapoartelor $^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$, $^{68}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$ și $^{68}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$ sunt mai ridicate față de cele ale rapoartelor abundențelor naturale, ceea ce indică o acumulare a acestui element pe cale antropogenă, o sursă importantă de contaminare fiind activitatea industrială siderurgică din vecinătate. Situația amprentelor izotopice este similară în toate cele trei teritorii studiate aflate în vecinătatea complexului industrial siderurgic și nu prezintă variații semnificative în secțiunile de sol analizate.

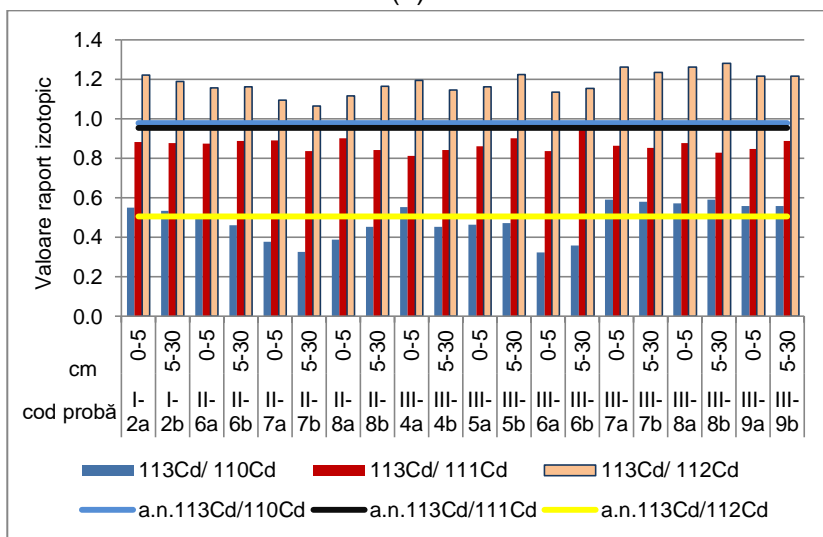
Figura 5.12 prezintă variația rapoartelor izotopice caracteristice solurilor agricole prelevate de pe teritoriile aflate în vecinătatea complexului industrial siderurgic în comparație cu rapoartele abundențelor naturale ale izotopilor identificați.



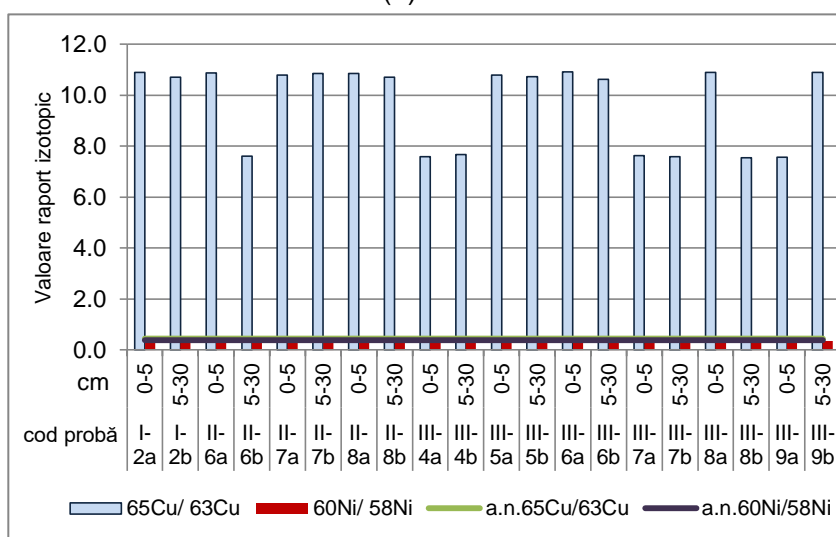
(a)



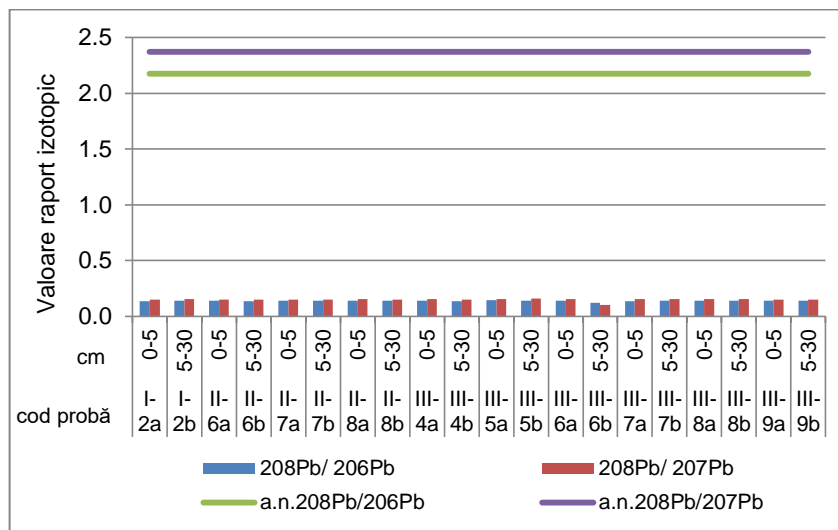
(b)



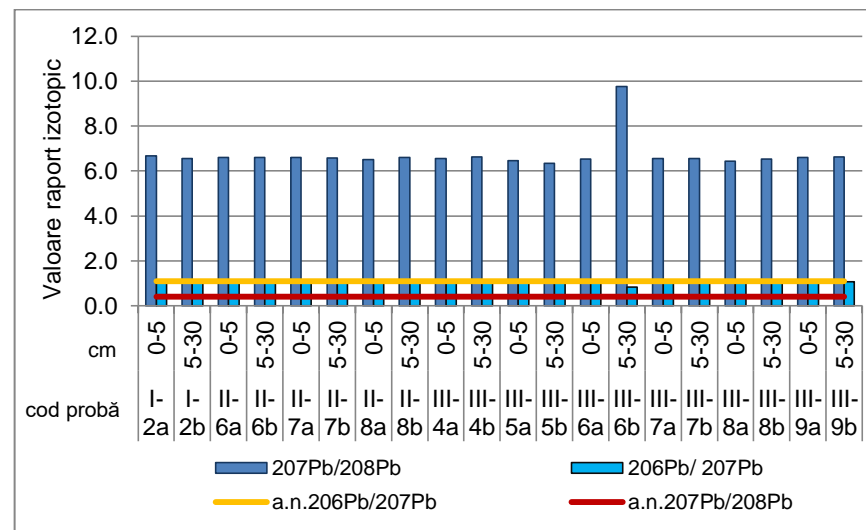
(c)



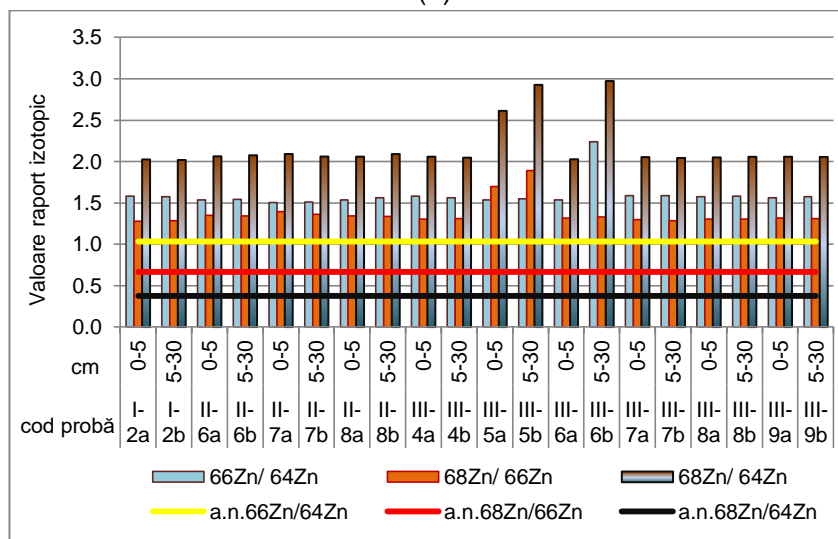
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 5.12 Variația rapoartelor izotopice caracteristice solului terenurilor cu folosința arabil, prelevate pe adâncimile 0-5 cm și 5-30 cm, de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila comparativ cu rapoartele abundențelor naturale ale izotopilor (a)-(g)

a.n. - abundența naturală

5.1.3. Rezultate obținute prin metode nucleare de analiză (PIGE, PIXE)

Rezultatele obținute prin metodele HR-CS AAS, ICP-MS și EDX au fost completate prin aplicarea tehnicilor nucleare de analiză PIGE și PIXE, care au permis determinarea atât a elementelor ușoare, cât și a elementelor grele din eșantioanele de sol recoltate de pe terenuri agricole aflate sub influența activităților siderurgice.

Tehnica PIXE a fost aplicată ca metodă calitativă confirmând astfel rezultatele obținute prin metodele de analiză avansată menționate anterior. Experimentul a constat, pe de o parte, în utilizarea unui detector de tip HPGe (High Purity Germanium) cu ajutorul căruia au fost determinate elementele având $Z \geq 20$ (Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn) și, pe de altă parte, în folosirea fascicului extern și a detectorului de tip Si(Li), fiind identificate elemente cu $Z < 20$ (Na, Mg, Al, Si, P, S). Un exemplu de spectru PIXE caracteristic solurilor din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați este redat în Figura 5.13.

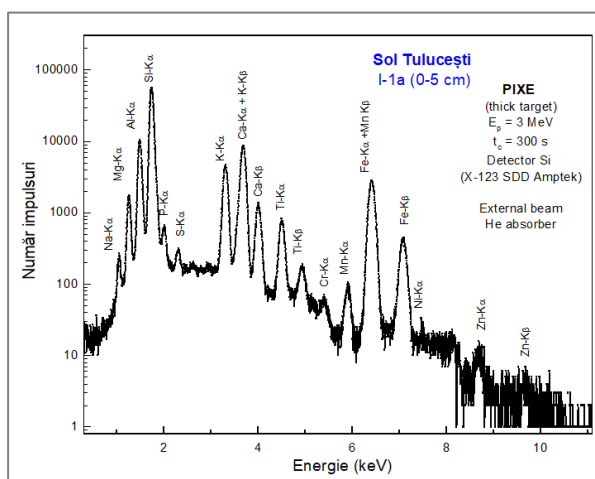


Figura 5.13 Spectru PIXE caracteristic solului I-1a, prelevat din stratul 0-5 cm, comuna Tulucești, județul Galați
 [Ene, A. ș. a., 2019a]

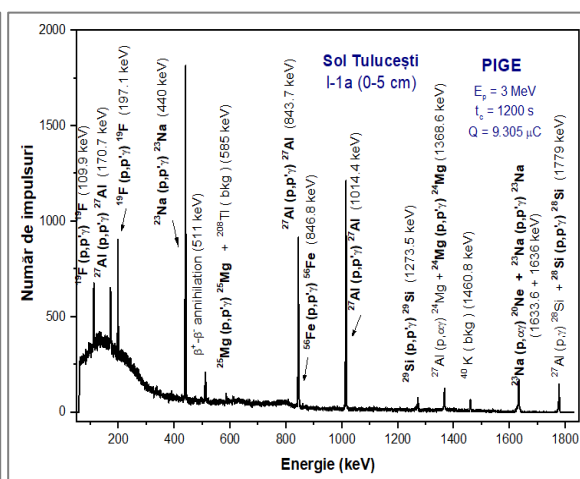


Figura 5.14 Spectru PIGE caracteristic solului I-1a, prelevat din stratul 0-5 cm, comuna Tulucești, județul Galați

Prin tehnica PIGE au fost identificate și cuantificate mai ales elementele ușoare ($Z < 15$): F, Al, Na, Mg, Si, Cl și K, însă această metodă a fost utilă și pentru identificarea Fe și Ti. Tabelele 5.5 și 5.6 prezintă concentrațiile micro-, macroelementelor și elementelor urmă din solurile agricole prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila.

Spectrul PIGE redat în Figura 5.14 evidențiază liniile gama caracteristice elementelor prezente în proba de sol, precum și tipurile de reacții nucleare ($p, p'\gamma$ - ^{18}F , ^{23}Na , $^{24,25}\text{Mg}$, ^{27}Al , $^{28,29}\text{Si}$, ^{31}P ; $p, \alpha\gamma$ - ^{23}Na , ^{31}P ; $p, n\gamma$ - ^{48}Ca) [Ene, A. ș. a., 2019a].

Rezultatele obținute prin metoda PIGE arată că nivelul elementelor nu prezintă variații semnificative între cele trei teritorii studiate și nici între stratele de sol cercetate. Figurile 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 redau variația elementelor identificate prin metoda PIGE, pe adâncimile 0-5 cm și 5-30 cm.

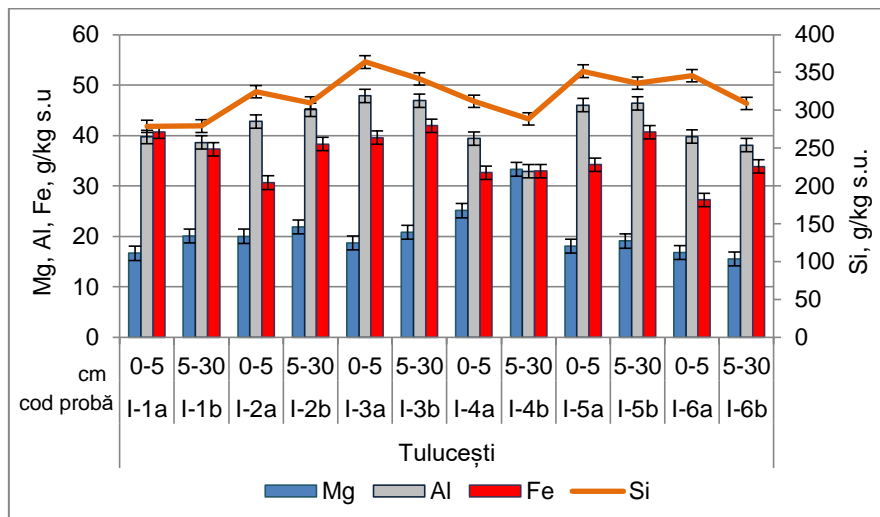


Figura 5.15 Variația concentrației medii de Mg, Al, Fe și Si pe adâncimele 0-5 cm și 5-30 cm în solurile agricole prelevate de pe teritoriul Tulucești, județul Galați

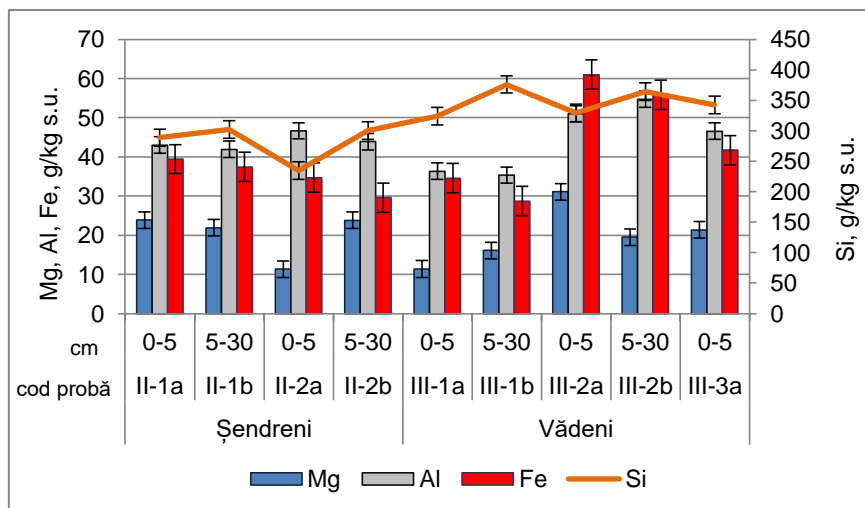


Figura 5.16 Variația concentrației medii de Mg, Al, Fe și Si pe adâncimele 0-5 cm și 5-30 cm în solurile agricole prelevate de pe teritoriile Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

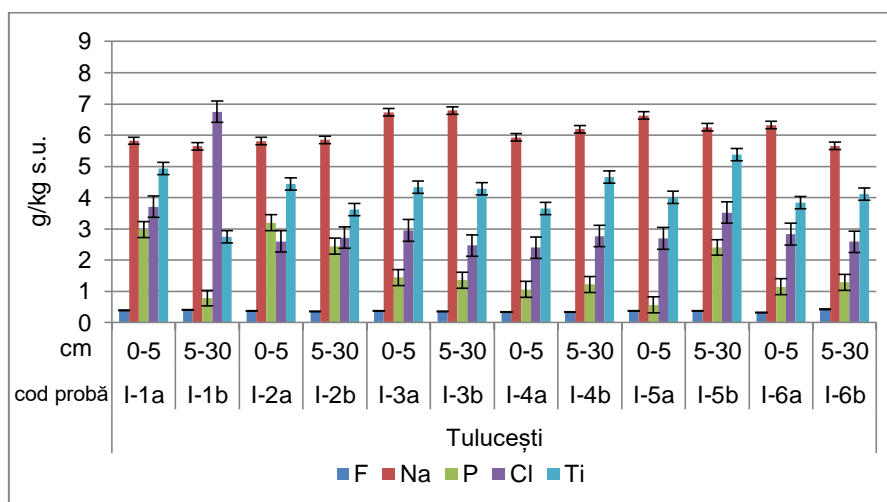


Figura 5.17 Variația concentrației medii de F, Na, P, Cl și Ti pe adâncimile 0-5 cm și 5-30 cm în solurile agricole prelevate de pe teritoriul Tulucești, județul Galați

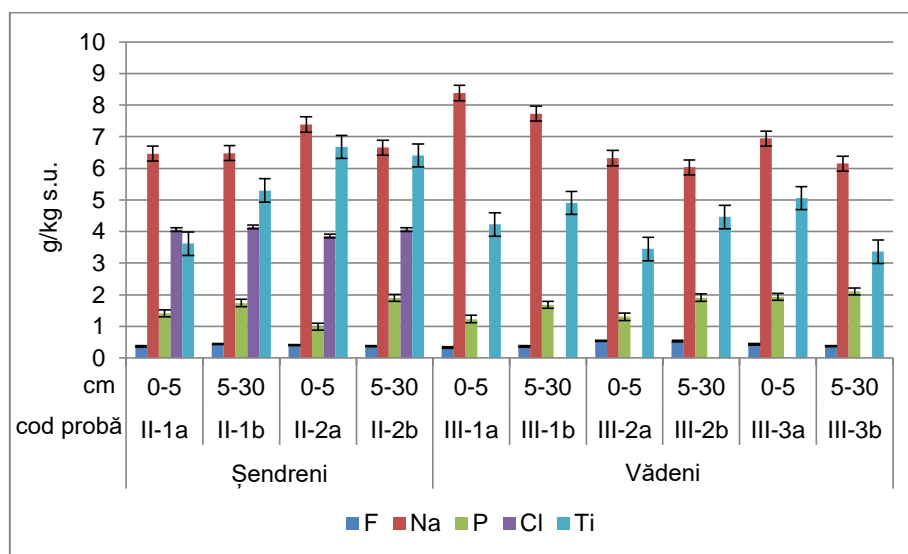


Figura 5.18 Variația concentrației medii de F, Na, P, Cl și Ti pe adâncimile 0-5 cm și 5-30 cm în solurile agricole prelevate de pe teritoriile Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Rezultatele parțiale ale cercetării probelor de sol prin tehnicile PIXE și PIGE au fost prezentate în cadrul conferințelor [Ene, A. ș. a., 2018], [Ene, A. ș. a., 2019b, c, d] și publicate în lucrarea [Ene, A. ș. a., 2019a].

5.2. Concentrația micro și macroelementelor în grâu (*Triticum vulgare* Vill.), porumb (*Zea mays* L.) și floarea soarelui (*Helianthus annuus* L.)

Studiul contaminării plantelor de cultură cu elemente toxice prezintă importanță pentru înțelegerea transferului de poluanți prin sistemul sol-plantă, mai ales în zonele agricole situate în vecinătatea platformelor industriale, zonelor miniere, căilor rutiere intens circulate, platformelor de extracție a gazelor naturale și petrolului.

Biodisponibilizarea și acumularea metalelor grele în plante se află în interdependență cu proprietățile fizice, chimice și biologice ale solului pe care se dezvoltă. Cei mai importanți factori care influențează mobilitatea ionilor elementelor chimice sunt reacția solului, textura (mai ales argila coloidală), conținutul de CaCO_3 și conținutul de materie organică [Kabata-Pendias, A., 2011], [Smical, A.I. ș. a., 2008], [Băjescu, I. și Chiriac, A., 1984], [Davidescu, D. și Davidescu, V., 1981]. În același timp, nivelul de bioacumulare a metalelor variază în funcție de specie, etapa de vegetație, precum și de condițiile climatice și de relief ale regiunii în care plantele se dezvoltă. Unele plante pot fi utilizate ca biomonitori pentru aer, sol, apă, având capacitatea de a acumula elementele toxice și de a le metaboliza.

5.2.1. Rezultate obținute prin spectrometrie de absorbție atomică de înaltă rezoluție cu sursă continuă (HR-CS AAS)

Cadmiul în plante. În grâu, concentrația medie de Cd variază între $0.0011 \pm 0,0001$ și $0.2165 \pm 0,0020$ mg/kg s.u. în frunze și între $0,0002 \pm 0,0000$ și $0,1819 \pm 0,0007$ mg/kg s.u. în cariopse (Figura 5.19). Conținutul mediu de Cd în cariopse se încadrează în recomandările FAO/WHO pentru toate punctele de prelevare, excepție făcând grâul prelevat din punctul I-7 Tuluțești, unde depășește ușor valoarea admisă de 0,10 mg/kg prevăzută de [https://eur-lex.europa.eu/homepage.html] și [FAO/WHO, 1995]. În porumb, conținutul mediu de Cd este

prezent în limitele $0,0320 \pm 0,0016 - 0,0930 \pm 0,0045$ mg/kg s.u., în frunze, și între $0,0017 \pm 0,0001$ și $0,0209 \pm 0,0000$ mg/kg s.u., în cariopse (Figura 5.21), valorile încadrându-se în limita maximă admisă recomandată de [<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>] și [FAO/WHO, 1995]. În floarea soarelui, Cd variază în domeniul $0,0759 \pm 0,0064 - 0,3608 \pm 0,0069$ mg/kg s.u. în frunză și $0,0928 \pm 0,0041 - 0,3995 \pm 0,0041$ mg/kg s.u. în achene (Figura 5.23). Valorile nu depășesc limita maximă admisă pentru Cd, stabilită de [<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>] și [FAO/WHO, 1995].

Cobaltul în plante. În grâu, concentrația de Co se află în domeniul $0,0298 \pm 0,0015 - 0,5627 \pm 0,0152$ mg/kg s.u., în frunze și $0,0056 \pm 0,0003 - 0,0624 \pm 0,0052$ mg/kg s.u., în cariopse (Figura 5.19). Se remarcă un maxim acumulat în frunze de $0,5627 \pm 0,015$ mg/kg s.u., în punctul de prelevare II-1, situat în imediata vecinătate a haldei de zgură. În porumb, conținutul de Co este prezent în limitele $0,0134 \pm 0,0002 - 0,0499 \pm 0,0026$ mg/kg s.u., în frunze și $0,0010 \pm 0,0000 - 0,0079 \pm 0,0006$ mg/kg s.u., în cariopse (Figura 5.21). În floarea soarelui, acumularea Co urmează același trend ca la grâu și porumb. Conținutul mediu de Co variază între $0,0757 \pm 0,0049 - 0,1276 \pm 0,0111$ mg/kg s.u., în frunză, și $0,0055 \pm 0,0003 - 0,0474 \pm 0,0042$ mg/kg s.u., în achene (Figura 5.23).

La nivel european nu s-a stabilit un prag maxim admis pentru acest element în cereale și semințele de floarea soarelui. Rezultatele pun în evidență acumularea cobaltului în ordinea frunză > cariopse/achene.

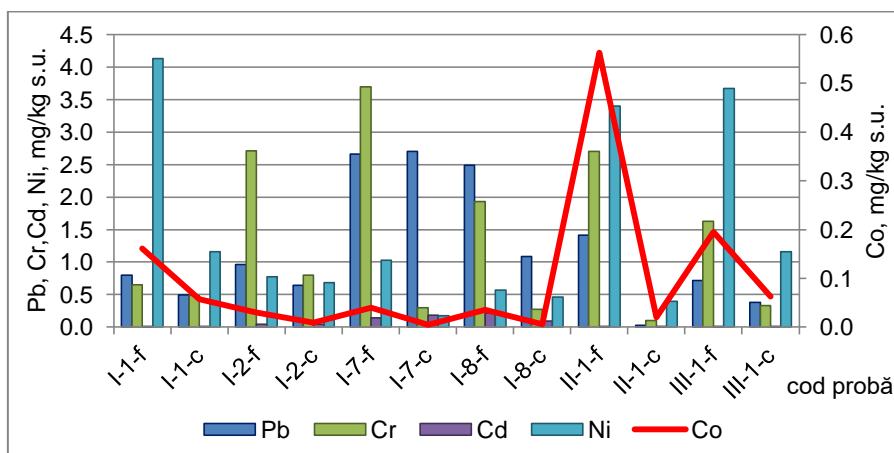


Figura 5.19 Concentrația medie de Pb, Cr, Cd, Ni și Co în frunzele și cariopsele de grâu prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

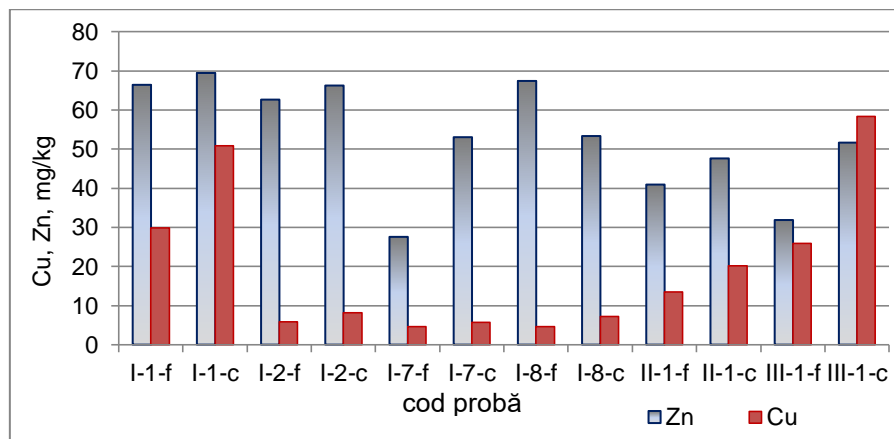


Figura 5.20 Concentrația medie de Zn și Cu în frunzele și cariopsele de grâu prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

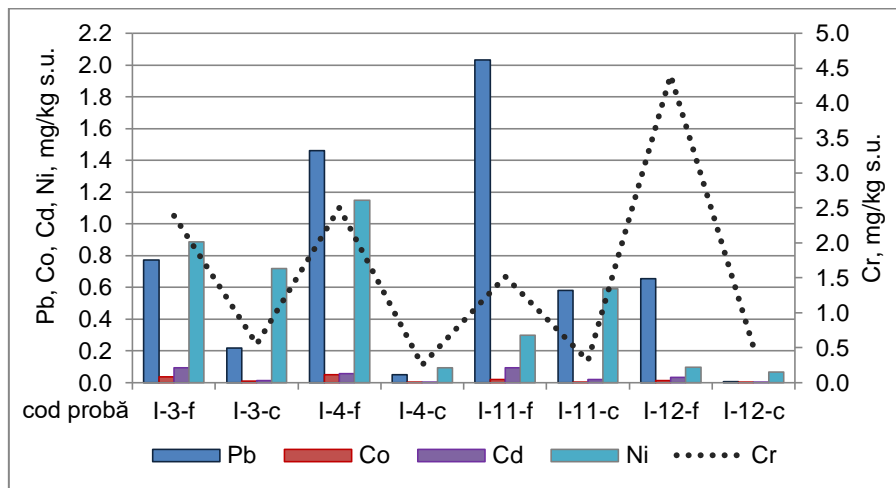


Figura 5.21 Concentrația medie de Pb, Co, Cd, Ni și Cr în frunzele și cariopsele de porumb prelevate de pe teritoriul Tulucești, județul Galați

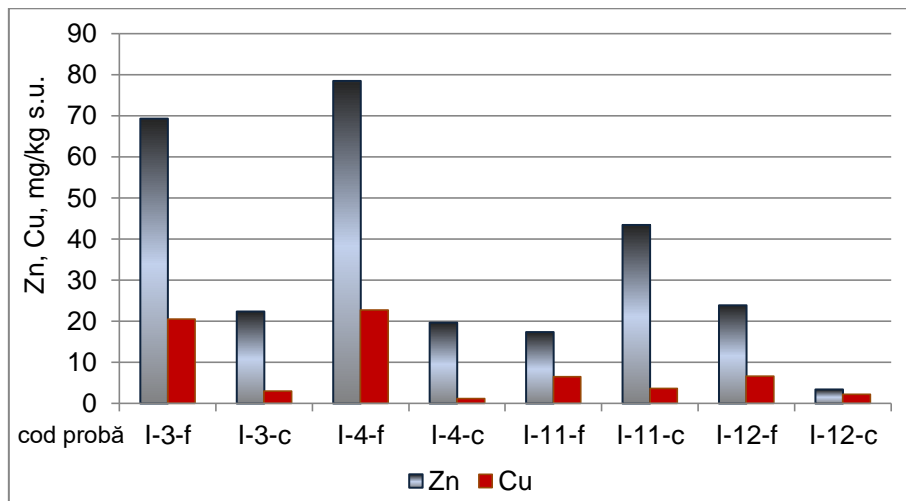


Figura 5.22 Concentrația medie de Zn și Cu în frunzele și cariopsele de porumb prelevate de pe teritoriul Tulucești, județul Galați

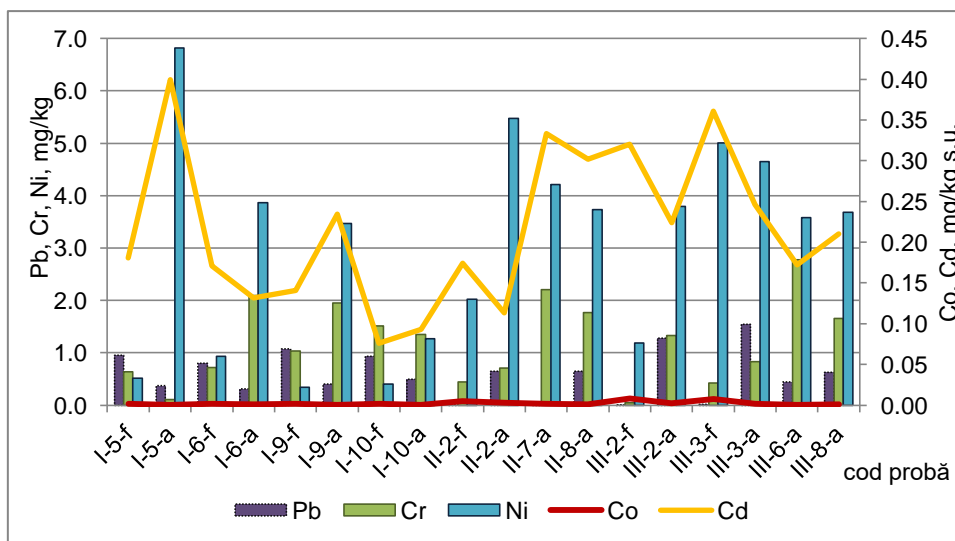


Figura 5.23 Concentrația medie de Cr, Cd, Ni, Co și Pb în frunzele și achenele de floarea soarelui prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

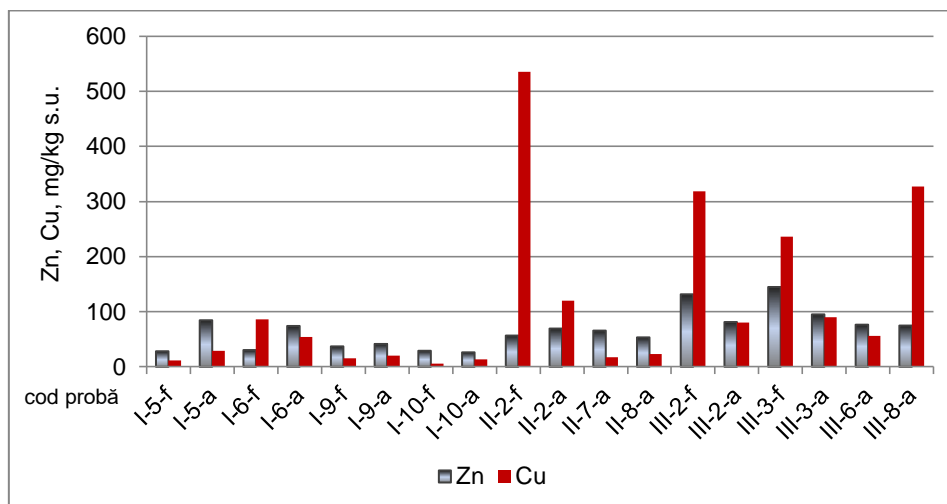


Figura 5.24 Concentrația medie de Zn și Cu în frunzele și achenele de floarea soarelui prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Cromul în plante. În ceea ce privește conținutul mediu de Cr în *grâu*, rezultatele arată o tendință pentru acumularea acestui element în cantități mai mari în frunze, valorile fiind între limitele $0,6488 \pm 0,0554$ și $3,6972 \pm 0,2210$ mg/kg s.u. În cariopse, Cr se situează între $0,1004 \pm 0,0044$ și $0,8014 \pm 0,0502$ mg/kg s.u. (Figura 5.19). În cazul *porumbului*, cele mai mari concentrații de Cr se găsesc în frunze ($1,5153 \pm 0,0220$ - $4,4003 \pm 0,2692$ mg/kg s.u.), în cariopse concentrația fiind în limitele $0,2465 \pm 0,0157$ - $0,5470 \pm 0,0521$ mg/kg s.u. (Figura 5.21). Pentru *floarea soarelui* se observă un trend diferit de acumulare a Cr, cele mai mari valori fiind înregistrate în achene ($0,1033 \pm 0,0099$ - $2,7785 \pm 0,1882$ mg/kg s.u.), în timp ce în frunză acest element se află în concentrație de $0,0423 \pm 0,0020$ - $1,5088 \pm 0,0211$ mg/kg s.u. (Figura 5.23).

Pentru acest element nu sunt reglementate valori maxime admise în secțiunile comestibile. După [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016], valoarea maximă admisă a Cr în culturile agricole este de 2,30 mg/kg. În raport cu această valoare, probele de cariopse și achene analizate au concentrații mici de Cr, excepție făcând achenele de floarea soarelui prelevate din punctul III-6, Vădeni.

Cuprul în plante. Conținutul mediu de Cu în probele de *grâu* variază astfel: în frunză s-au înregistrat valorile medii cele mai scăzute, situate între $4,6635 \pm 0,0345$ și $29,9108 \pm 0,2094$ mg/kg s.u. În cariopse, nivelul mediu de Cu variază între $5,7913 \pm 0,0293$ - $58,3966 \pm 0,4672$ mg/kg s.u. (Figura 5.20). Pentru toate probele de cariopse, nivelul mediu de Cu depășește limita maximă admisă stabilită de [Ordin nr. 975/1998], chiar în proporție de 4 până la 10 ori față de maxim în punctele de prelevare I-1, II-1, III-1, dar sunt sub valoarea maximă recomandată de [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016]. În cazul *porumbului* s-a constatat că elementul Cu se acumulează mai mult în frunză, ($6,5535 \pm 0,2709$ - $22,7788 \pm 0,3072$ mg/kg s.u.), față de cariopse, ($1,2676 \pm 0,0738$ - $3,7025 \pm 0,0127$ mg/kg s.u.) - Figura 5.22. Concentrația de Cu în cariopsele de porumb se încadrează în limita maximă admisă stabilită de [Ordinul 975/1998] pentru cereale și se situează sub valoarea maximă în culturile agricole după [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016]. Pentru *floarea soarelui* se constată că pentru probele prelevate de pe teritoriul Tulucești, concentrațiile medii mai mici de Cu sunt prezente în frunze ($5,8448 \pm 0,2235$ - $15,2186 \pm 0,0988$ mg/kg s.u.). În achene concentrația variază între $13,6488 \pm 0,68$ și $54,3190 \pm 0,3626$ mg/kg s.u. Pentru teritoriile Șendreni și Vădeni nu se mai respectă același trend, rezultatele punând în evidență situații când valorile sunt mai mari în

frunză decât în achene și invers. Pentru cele două teritorii conținutul mediu de Cu în frunze este de $535,3477 \pm 0,5353$ mg/kg s.u. la Șendreni, iar la Vădeni variază între $235,9469 \pm 6,8425$ și $318,2454 \pm 8,9109$ mg/kg s.u. În achene, Cu variază între $13,6488 \pm 0,0968$ și $120,1464 \pm 8,2901$ mg/kg s.u. la Șendreni, și $327,2088 \pm 12,3200$ mg/kg s.u. la Vădeni (Figura 5.24). Pentru semințele de floarea soarelui nu sunt reglementate la nivel european limite maxime admise a conținutului de Cu. După [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016], concentrația acestui element în culturile agricole nu trebuie să depășească 73,30 mg/kg.

Nichelul în plante. Datele analitice rezultate pentru grâu arată că Ni s-a acumulat în concentrații medii mai mari în frunze ($0,5680 \pm 0,0608$ și $4,1301 \pm 0,2354$ mg/kg s.u.), decât în cariopse ($0,1771 \pm 0,0264$ - $1,1637 \pm 0,1152$ mg/kg s.u.)-Figura 5.19. Pentru porumb se păstrează același trend, în frunze concentrația medie fiind de $0,0950 \pm 0,0636$ - $1,1471 \pm 0,0014$ mg/kg s.u., iar în cariopse, $0,0660 \pm 0,0239$ - $0,7181 \pm 0,0342$ mg/kg s.u. (Figura 5.21). În cazul floarea soarelui situația este diferită, în sensul că Ni s-a acumulat în concentrații medii mai mari în achene ($1,2731 \pm 0,0609$ - $6,8157 \pm 0,1438$ mg/kg s.u.) față de frunze ($0,3377 \pm 0,0203$ - $5,0053 \pm 0,4455$ mg/kg s.u.) - Figura 5.23.

La nivel european nu sunt stabilite valori maxime admise pentru Ni în produsele alimentare. [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016] menționează că nivelul de Ni în culturile agricole nu trebuie să depășească pragul de 67.90 mg/kg. Rezultatele obținute pentru nivelul Ni în plantele analizate se situează sub pragul consemnat de [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016].

Plumbul în plante. Grâul a acumulat mai mult Pb în frunze decât în cariopse, valorile situându-se între $0,7139 \pm 0,0521$ și $2,6630 \pm 0,0548$ mg/kg s.u., respectiv între $0,0259 \pm 0,0023$ și $1,0830 \pm 0,1045$ mg/kg s.u. - Figura 5.19. Concentrațiile medii rezultate pentru cariopse depășesc valoarea maximă stabilită de [<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>] și [FAO/WHO, 1995]. În cazul porumbului se constată că valorile medii ale acestui element sunt mai mari în frunze ($0,6534 \pm 0,0570$ - $2,0330 \pm 0,16273$ mg/kg s.u.) în comparație cu cele din cariopse, în care variază între $0,0046 \pm 0,0001$ și $0,5821 \pm 0,0046$ mg/kg s.u. (Figura 5.21). În probele prelevate din punctele I-3 și I-11 (Tuluțești), valorile medii pentru Pb depășesc maximul admis de 0,20 mg/kg [FAO/WHO, 1995]. Acumularea plumbului în secțiunile de floarea soarelui comportă două situații distincte (Figura 5.23):

1. Pe teritoriul Tuluțești, rezultatele au arătat o acumulare mai mare în frunze, ($0,8046 \pm 0,0358$ și $0,9552 \pm 0,00301$ mg/kg s.u.), decât în achene, ($0,3718 \pm 0,0343$ și $0,4912 \pm 0,0405$ mg/kg s.u.).

2. Pe teritoriile Șendreni și Vădeni, Pb înregistrează valori medii mai mari în achene ($0,4399 \pm 0,0172$ și $1,6180 \pm 0,0970$ mg/kg s.u.), în comparație cu cele din frunze, ($0,0067 \pm 0,0003$ și $0,0114 \pm 0,0009$ mg/kg s.u.). Concentrația medie de Pb din achenele prelevate de pe aceste teritorii depășește valoarea maximă admisă stabilită de [<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>] și [FAO/WHO, 1995].

Zincul în plante. Concentrația medie de zinc în secțiunile de grâu evidențiază o tendință de acumulare a acestui element mai mult în cariopse, ($47,5840 \pm 1,5703$ - $69,4203 \pm 0,4165$ mg/kg s.u.). În frunze, Zn variază între $27,5370 \pm 0,4530$ și $67,3812 \pm 0,7668$ mg/kg s.u. (Figura 5.20). [Ordinul nr. 975/1998] prevedea un maxim de 15 mg/kg Zn pentru cereale. Față de maximul menționat de [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016], concentrația de Zn în cariopse este scăzută. În comparație cu grâul, rezultatele au evidențiat că porumbul a acumulat mai mult Zn în frunze ($17,3812 \pm 0,6334$ - $78,4678 \pm 0,2328$ mg/kg s.u.), față de cariopse, ($3,4229 \pm 0,5423$ - $43,4355 \pm 0,8903$ mg/kg s.u.) - Figura 5.22. Valorile depășesc maximul admis pentru cereale [<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>] și [FAO/WHO,

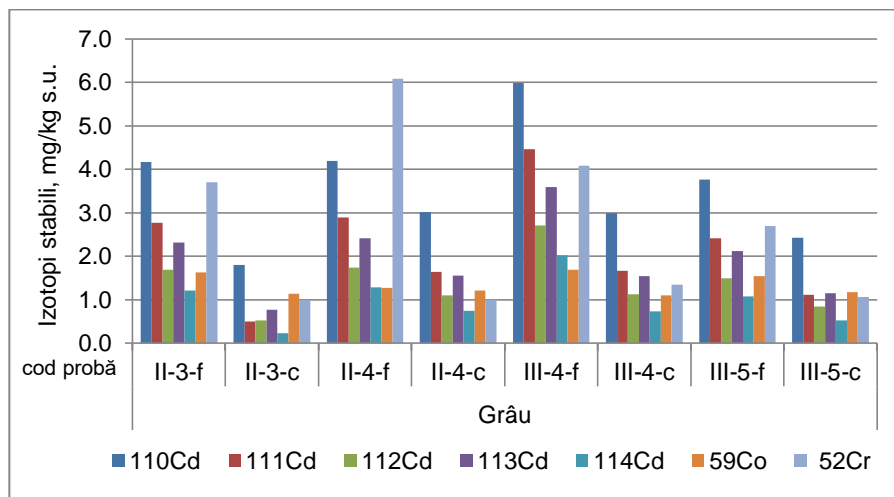
1995] și se situează sub valoarea menționată de [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016]. Modul de acumulare a Zn în țesuturile de floarea soarelui este evidențiat, pe ansamblu, de valorile medii mai mari în achene decât în frunze. Concentrația medie de Zn în frunză variază între $28,2430 \pm 0,9340$ și $144,8514 \pm 2,0279$ mg/kg s.u., iar în achene între $26,2678 \pm 0,8287$ și $95,1353 \pm 0,8562$ mg/kg s.u. (Figura 5.24). Pentru semințele de floarea soarelui nu sunt prevăzute limite maxime admise ale Zn. Valorile înregistrate în achene sunt mai mici decât valoarea recomandată de [Al-Othman, Z.A. ș. a., 2016].

5.2.2. Rezultate obținute prin spectrometria de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS)

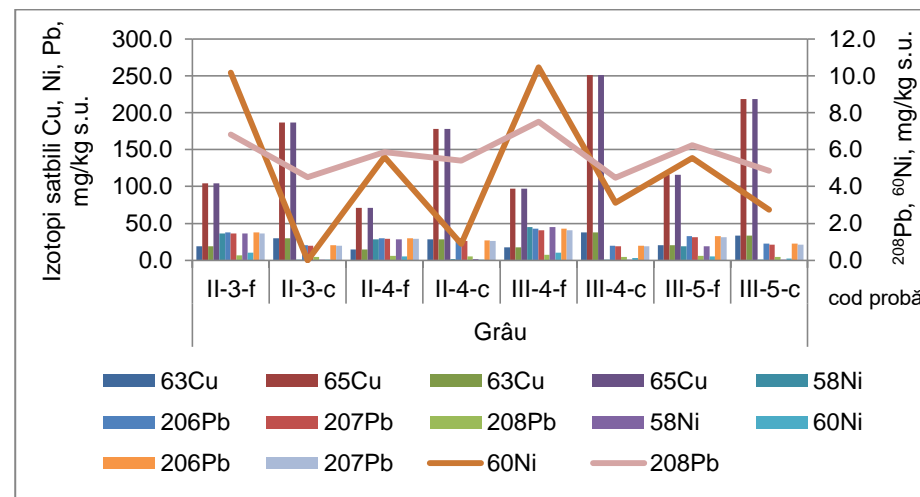
În vederea evaluării nivelului de contaminare a țesuturilor plantelor cultivate în vecinătatea complexului industrial siderurgic de la Galați cu macro și microelemente, precum și cu elemente urmă toxice sau potențial toxice s-a efectuat și analiza izotopică a elementelor prin aplicarea tehnicii ICP-MS. S-au identificat aceiași izotopi stabili ai metalelor prezenți în sol, respectiv ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd , ^{59}Co , ^{52}Cr , ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{55}Mn , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{64}Zn , ^{66}Zn și ^{68}Zn . Variația concentrației medii a izotopilor stabili în țesuturile de grâu, porumb și floarea soarelui prelevate de pe teritoriile aflate în vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați este redată în Figurile 5.25, 5.26, 5.27.

Rezultatele analitice indică tendința acumulării micro- și macroelementelor mai ales la nivelul frunzelor. Totodată concentrațiile izotopilor din plante arată relația de interdependență sol-plantă în transferul de nutrienți și elemente toxice sau potențial toxice.

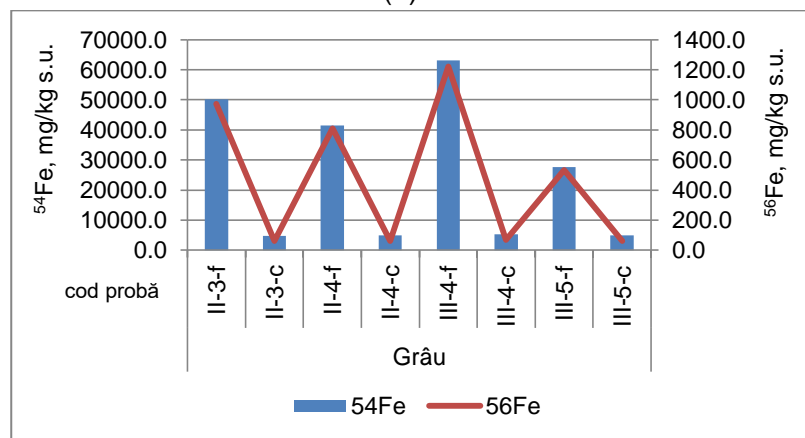
Pentru evaluarea amprentei izotopice s-au calculat și rapoartele de izotopi. Ca și în cazul solului, valori mai mari decât ale rapoartelor abundențelor naturale au fost înregistrate pentru $^{113}\text{Cd}/^{112}\text{Cd}$, $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$, $^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$, $^{68}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$ și $^{68}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$, ceea ce indică specificitatea izotopică a arealului studiat, precum și relația de interdependență dintre sol și plantele cultivate pe acesta.



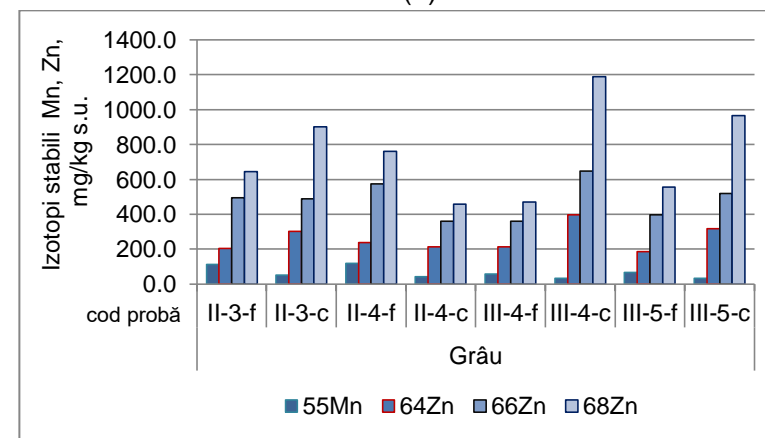
(a)



(b)

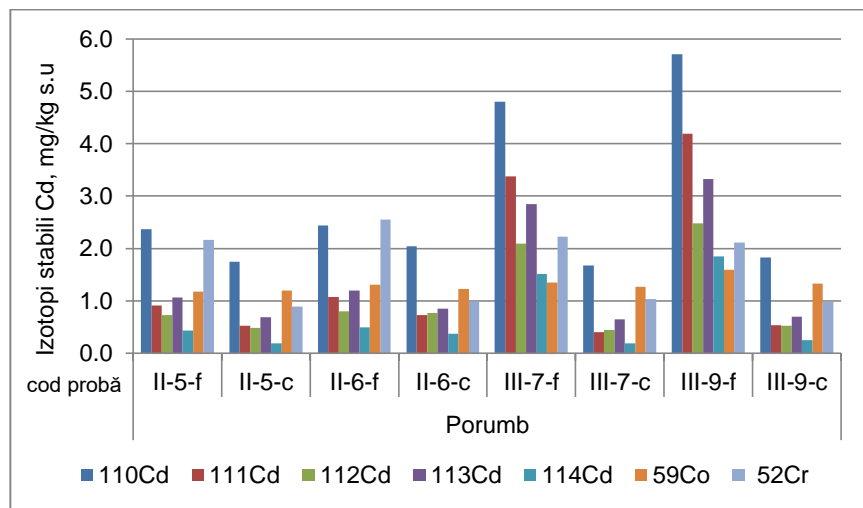


(c)

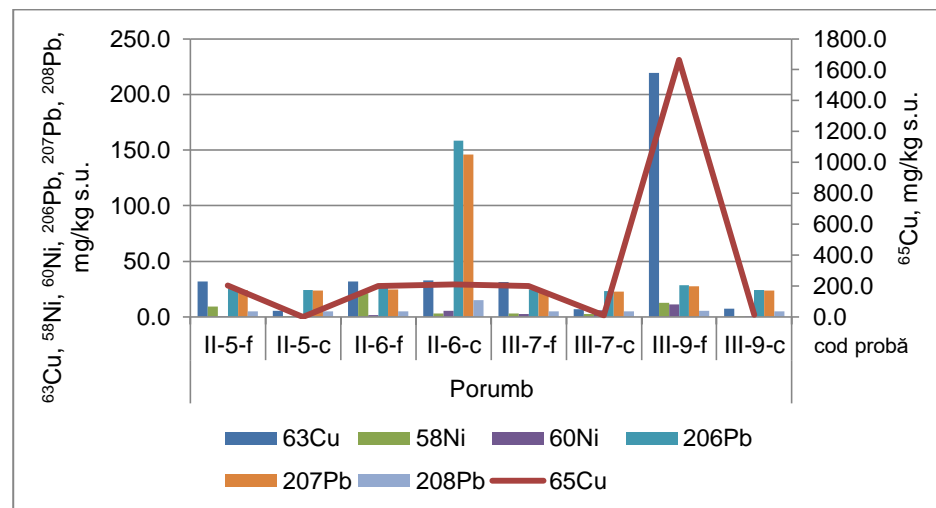


(d)

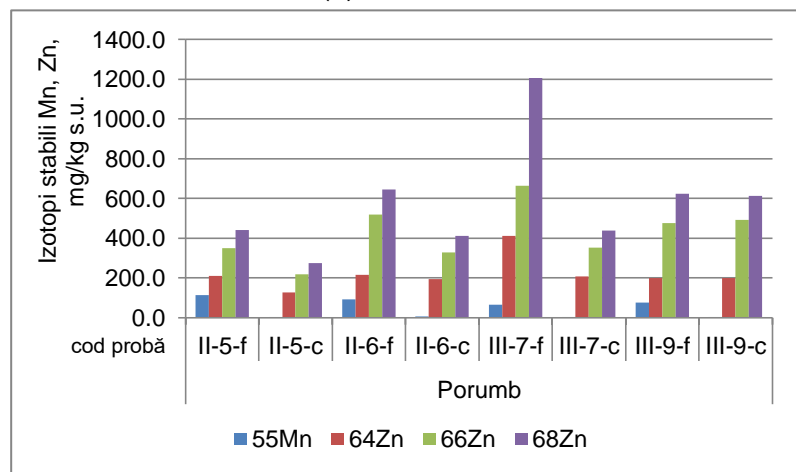
Figura 5.25 Variația concentrației medii a izotopilor stabili ai metalelor în țesuturile de grâu prelevate de pe teritoriile Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila



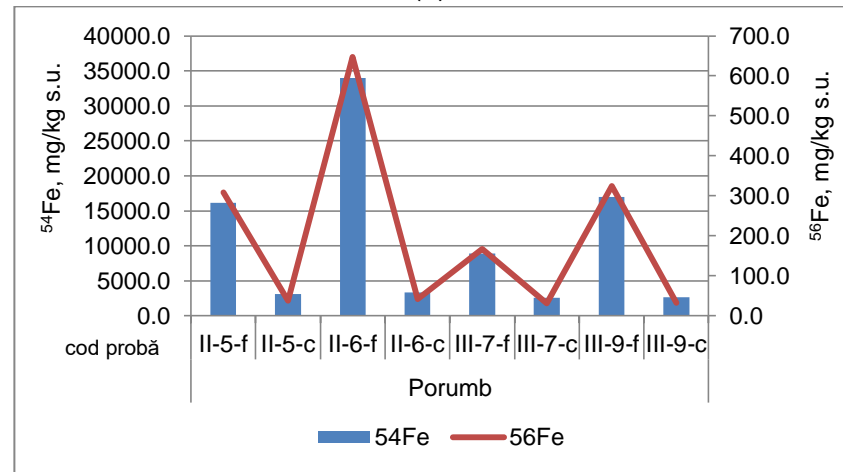
(a)



(b)

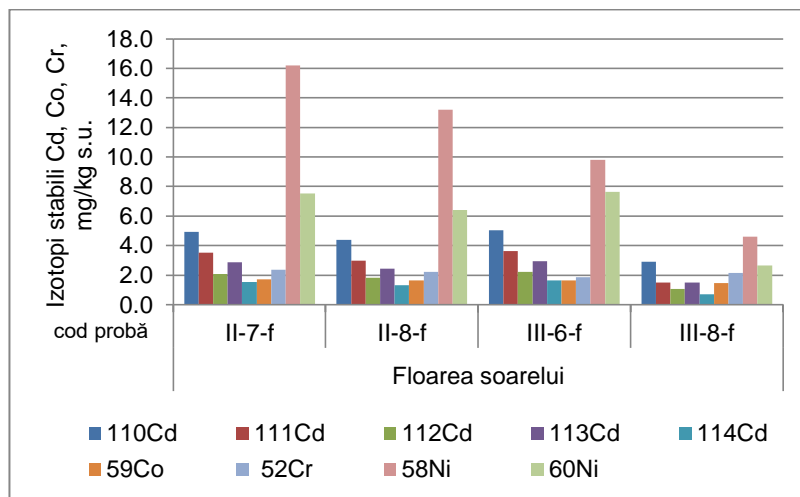


(c)

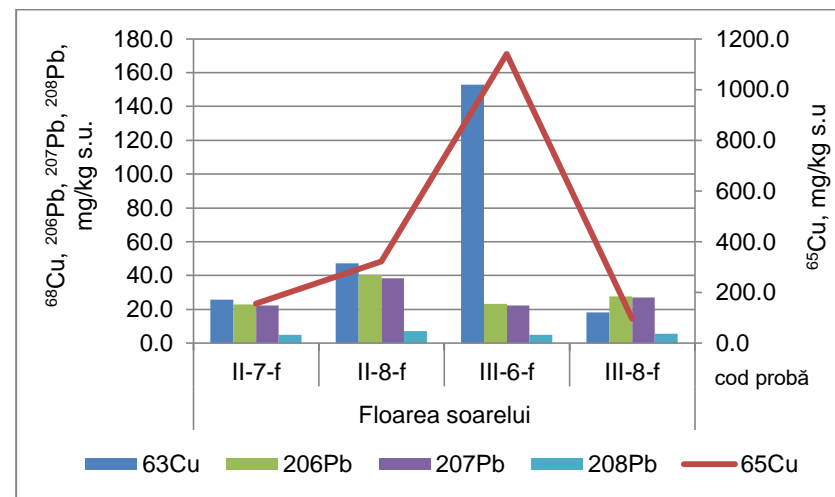


(d)

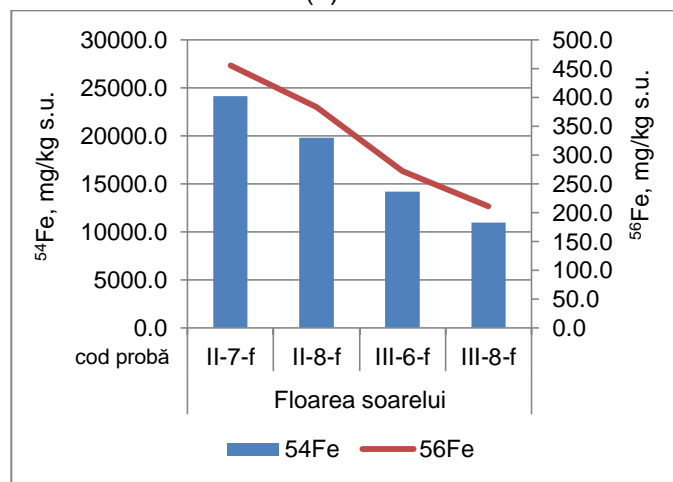
Figura 5.26 Variația concentrației medii a izotopilor stabili ai metalelor în țesuturile de porumb prelevate de pe teritoriile Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila



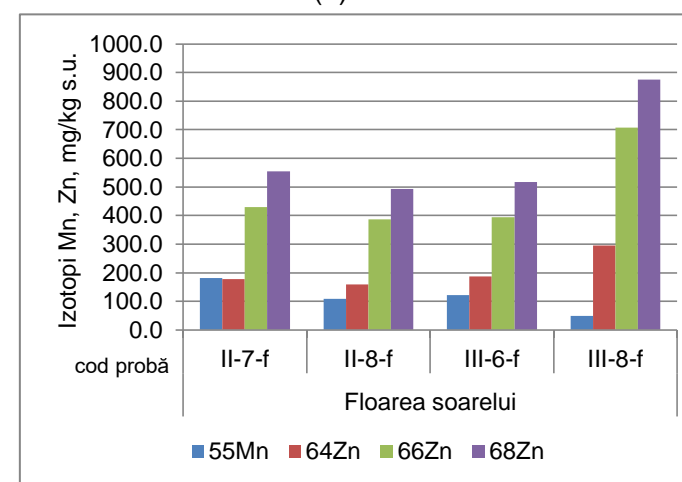
(a)



(b)



(c)

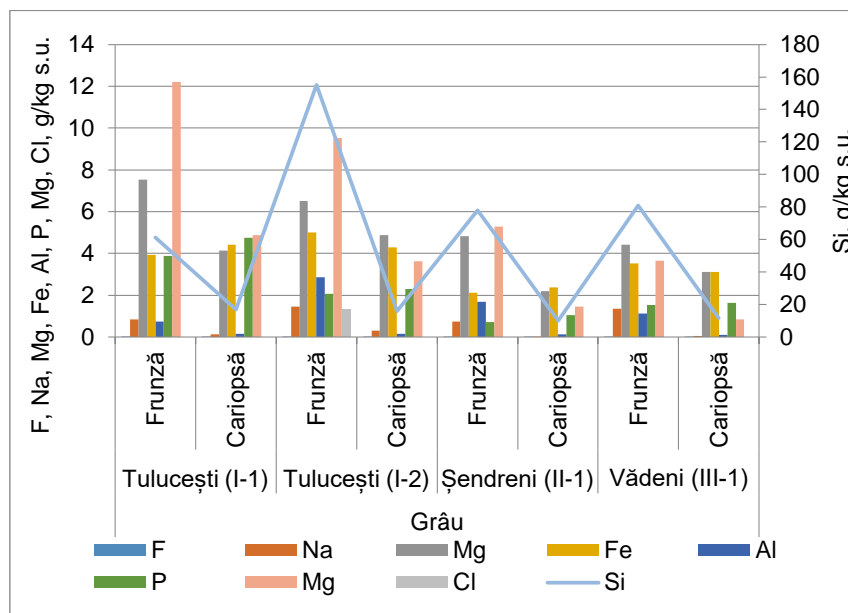


(d)

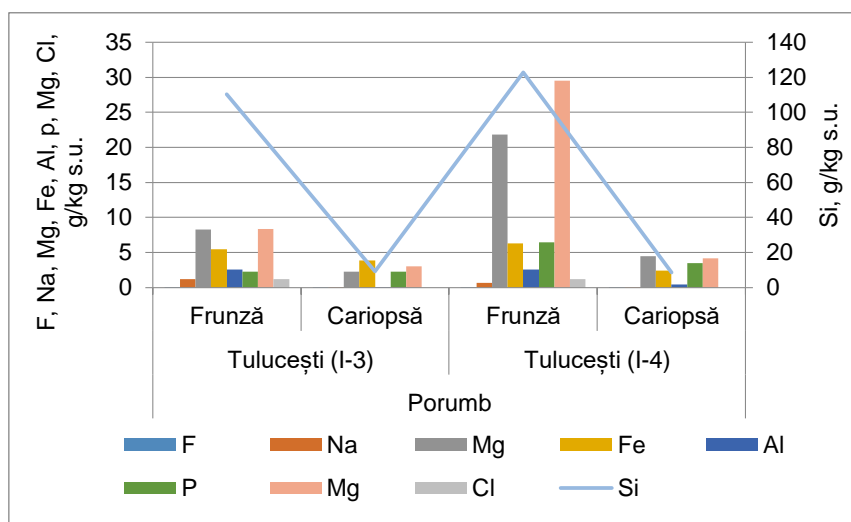
Figura 5.27 Variația concentrației medii a izotopilor stabili ai metalelor în țesuturile de floarea soarelui prelevate de pe teritoriile Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

5.2.3. Rezultate obținute prin metode nucleare de analiză (PIGE, PIXE)

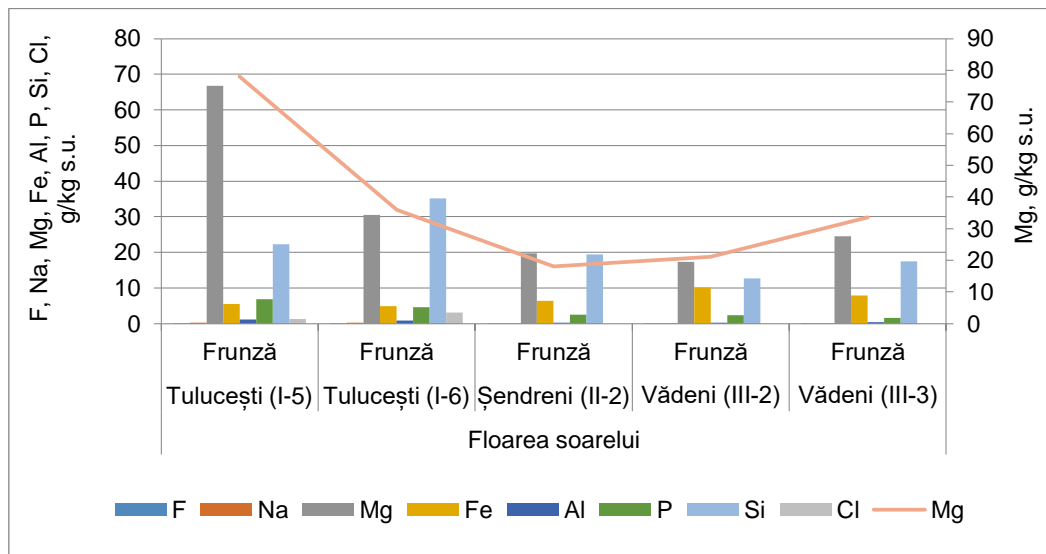
Pentru evaluarea complexă a plantelor de cultură în vederea identificării și cuantificării și a altor elemente, care nu au fost analizate prin celelalte metode avansate s-au aplicat tehnicile nucleare de analiză PIGE și PIXE, prin care s-au determinat următoarele elemente ușoare și grele: Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Na, Mg, Al, Si, P, S reprezentate în spectrele redată în Figurile 5.29 și 5.31. Tehnica RBS a fost utilizată pentru identificarea și calculul concentrațiilor elementelor din compoziția matricei probelor de mediu, fiind determinate elementele ușoare (C, O, Ca, Si, K) - Figura 5.30. Variația concentrațiilor elementelor în țesuturile vegetale identificate prin metoda PIGE este redată în Figura 5.28.



(a)

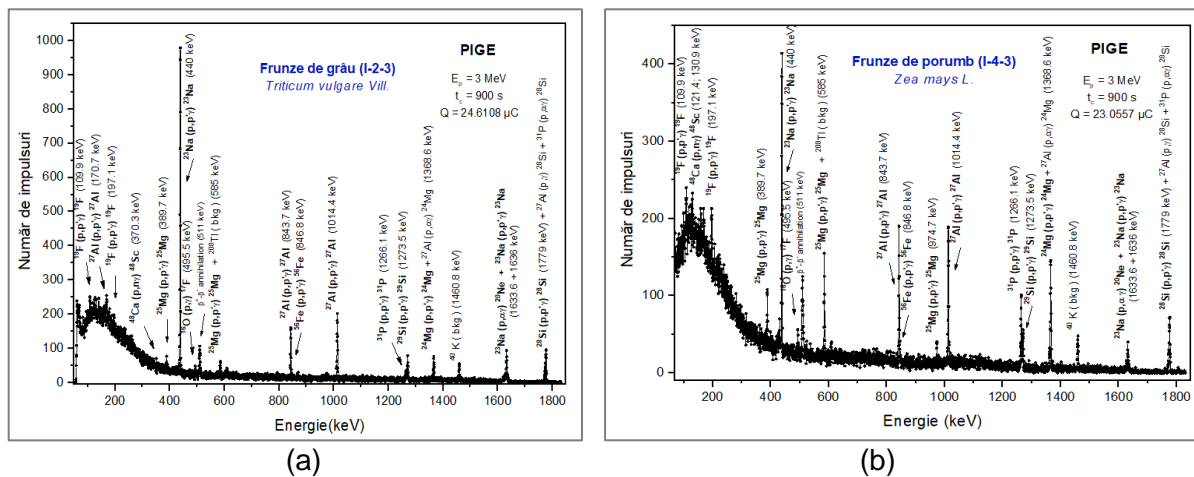


(b)



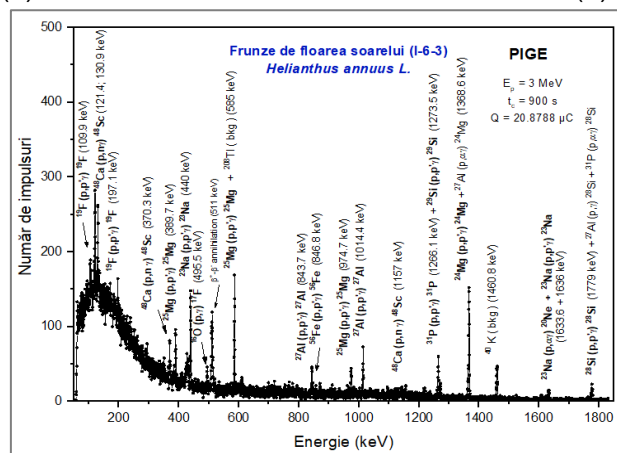
(c)

Figura 5.28 Variația conținutului mediu de F, Na, Mg, Fe, Al, P, Si, Cl, Mg în țesuturile vegetale: (a) frunze și cariopse de grâu, (b) frunze și cariopse de porumb, (c) frunze de floarea soarelui



(a)

(b)



(c)

Figura 5.29 Spectrele PIGE caracteristice frunzelor de (a) grâu, (b) porumb, (c) floarea soarelui prelevate din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați [Ene, A. ș. a., 2019a, b]

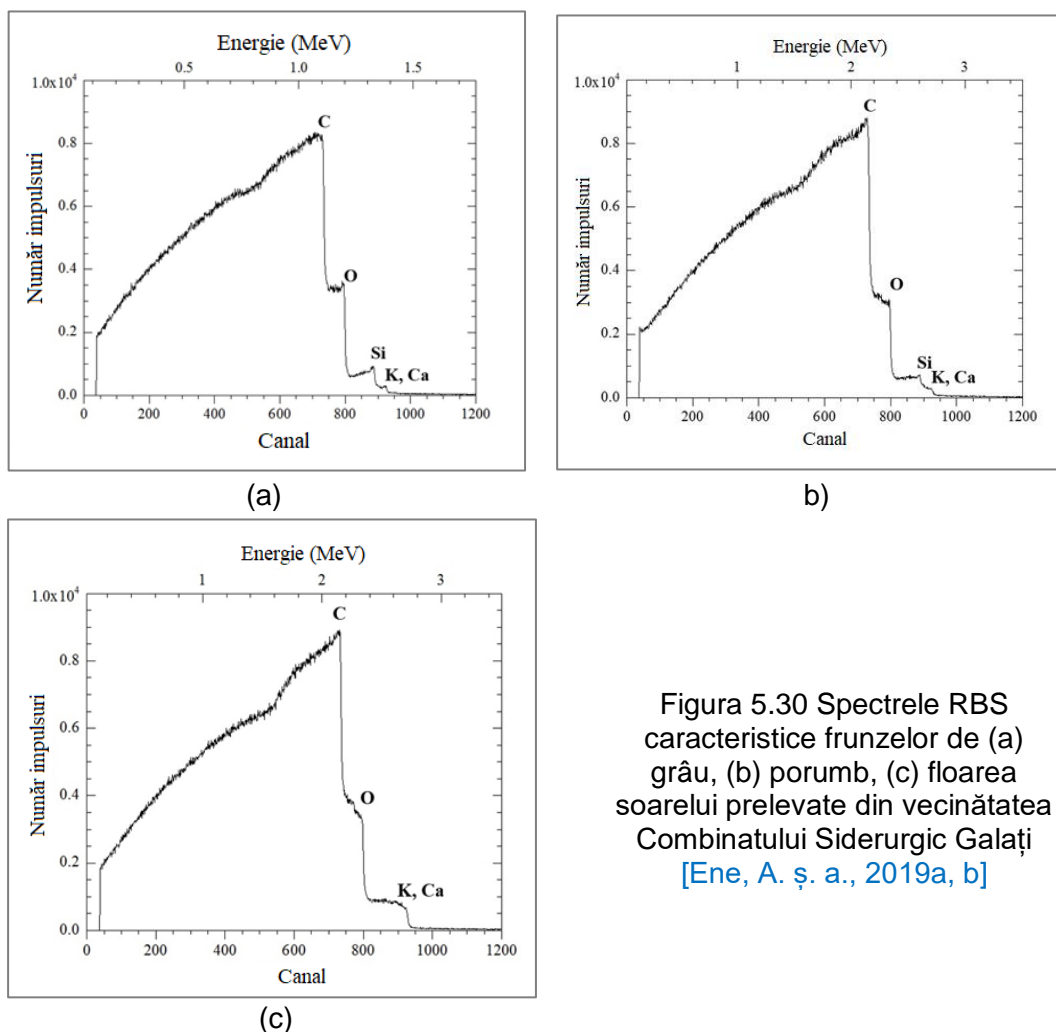


Figura 5.30 Spectrele RBS caracteristice frunzelor de (a) grâu, (b) porumb, (c) floarea soarelui prelevate din vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați [Ene, A. ș. a., 2019a, b]

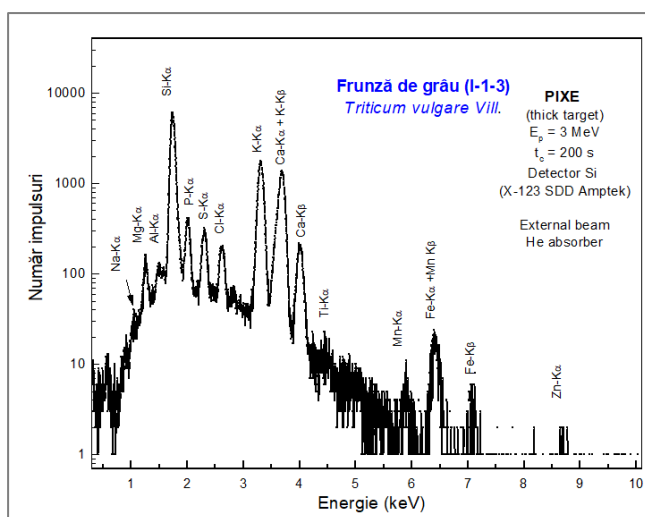


Figura 5.31 Spectru PIXE caracteristic frunzelor de grâu prelevate din comuna Tulucești, județul Galați [Ene, A. ș. a., 2019a, b]

5.3. Concluzii parțiale

Rezultatele experimentale au evidențiat următoarele:

Analiza solului

Metoda HR-CS AAS a permis cuantificarea concentrațiilor de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb și Zn. Rezultatele au evidențiat că nivelul elementelor Cd, Co, Mn, Pb și Zn nu prezintă depășiri ale valorilor normale reglementate de [Ordinul nr. 756/1997]. Cele mai mari

concentrații au fost înregistrate pentru **crom**, care **prezintă depășiri ale pragului de alertă pentru folosințe sensibile**, atât pe adâncimea 0-5 cm, cât și în stratul 5-30 cm al solurilor agricole de pe toate cele trei teritorii. **Pentru acest element s-au evidențiat, punctual, și depășiri ale pragului de intervenție pentru folosințe sensibile.**

În ceea ce privește conținutul de cupru, rezultatele analitice au arătat că, pe ansamblu, valorile medii se situează în jurul pragului normal prevăzut în legislație pe ambele adâncimi standard, *excepție făcând câteva zone unde concentrațiile depășesc valorile normale, dar nu ating pragul de alertă pentru folosințe sensibile. Concentrația de nichel înregistrează depășirea valorilor normale reglementate* atât în stratul 0-5 cm, cât și în stratul 5-30 cm în toate unitățile administrativ teritoriale studiate. Pe teritoriul Vădeni se constată valori mai ridicate în comparație cu teritoriile Șendreni și Tulucești.

Rezultatele obținute prin metoda HR-CS AAS au fost completate prin aplicarea tehnicii ICP-MS, care a permis identificarea amprentei izotopice specifică solurilor situate în vecinătatea parcului industrial siderurgic. Pe baza valorilor obținute s-au calculat rapoartele izotopilor, iar rezultatele s-au comparat cu valorile rapoartelor abundențelor naturale ale acestora, rezultând că amprentele izotopice ale Cd ($^{113}\text{Cd}/^{112}\text{Cd}$), Cu ($^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$), Pb ($^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$) și Zn ($^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$, $^{68}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$ și $^{68}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$) prezintă valori mai mari decât raportul abundențelor naturale ale acestor izotopi. Cele mai ridicate valori s-au înregistrat pentru $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$, $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$ și $^{68}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$ ceea ce indică impactul activităților industriale învecinate, însă aceste valori pot indica și alte surse antropogene de contaminare (traficul rutier și utilizarea produselor fitosanitare și fertilizanților chimici în agricultură).

Metodele nucleare de analiză au permis detectarea elementelor ușoare și grele existente în solurile agricole din zona Galați-Brăila. Tehnica PIXE a fost aplicată pentru aprecierea calitativă a micro și macroelementelor din matricea solului, fiind identificate Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn. Metoda PIGE a permis identificarea și cuantificarea mai ales a elementelor ușoare F, Al, Na, Mg, Si, Cl și K, însă această metodă a fost utilă și pentru identificarea Fe și Ti. Prin tehnica PIGE a fost detectat elementul F, mai greu de cuantificat prin alte metode analitice. *Fluorul înregistrează valori mai ridicate decât media concentrației acestui element în solurile mondiale*, principala sursă a contaminării fiind activitatea siderurgică învecinată teritoriilor studiate. Cele mai ridicate valori s-au obținut pentru Si și Al, elemente moștenite din structura geochimică a materialului parental.

Analiza plantelor (frunze și boabe/semințe de grâu, porumb și floarea soarelui)

Rezultatele experimentale privind conținutul de micro și macroelemente din frunzele și boabele/semințele de grâu, porumb și floarea soarelui obținute prin metoda HR-CS AAS au evidențiat că acumularea acestora variază în funcție de specie și secțiunea fiziologică. Pe ansamblu, plantele studiate au tendința de acumulare a metalelor mai ales la nivelul frunzelor. În cazul florii soarelui, elementele Ni, Pb, Cr și Zn au concentrații medii mai ridicate în achene, pe teritoriile Vădeni și Șendreni, *conținutul de Pb depășind limita maximă admisă de reglementările europene*. Prin ICP-MS s-au identificat aceiași izotopi stabili ai micro și macroelementelor existente în sol. Valorile rapoartelor izotopice evidențiază legătura sol-plantă în transferul elementelor chimice. Cele mai mari valori s-au înregistrat pentru Cd ($^{113}\text{Cd}/^{112}\text{Cd}$), Cu ($^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$), Zn ($^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$, $^{68}\text{Zn}/^{66}\text{Zn}$ și $^{68}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$) și, punctual, Ni ($^{60}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$).

Tehnicile nucleare PIXE și PIGE au evidențiat prezența în țesuturile de plante atât a elementelor ușoare (Na, Mg, Al, Si, P, S), cât a elementelor grele (Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn), prezente și în matricea solului pe care acestea au fost cultivate. Rezultatele obținute prin metoda PIGE au confirmat tendința de acumulare a elementelor chimice în cantități mai ridicate în frunze comparativ cu cariopsele și achenele.

6. CERCETĂRI MORFOLOGICE ȘI MINERALOGICE ALE SOLURILOR AGRICOLE ȘI PLANTELOR DE CULTURĂ DIN ZONELE ADIACENTE COMBINATULUI SIDERURGIC GALAȚI

6.1. Identificarea mineralelelor din sol prin spectroscopie ATR-FTIR

Analiza ATR-FTIR a vizat identificarea amprentei spectrale pentru solurile eșantionate, precum și a tipurilor de minerale prezente în compoziția acestora. Spectrele ATR-FTIR redată de Figura 6.1 evidențiază că benzile de absorbție pentru probele de sol selectate sunt asemănătoare, dar au intensitatea picurilor diferită. Astfel, pe baza benzilor de absorbție, atribuite vibrațiilor caracteristice grupărilor funcționale ale elementelor chimice prezente în probele analizate, a fost pusă în evidență atât prezența mineralelor argiloase, cât și a mineralelor neargiloase [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019a, b, c], [Ene, A. ș. a., 2020b], [Moraru, S.-S. ș. a., 2019a, d, e].

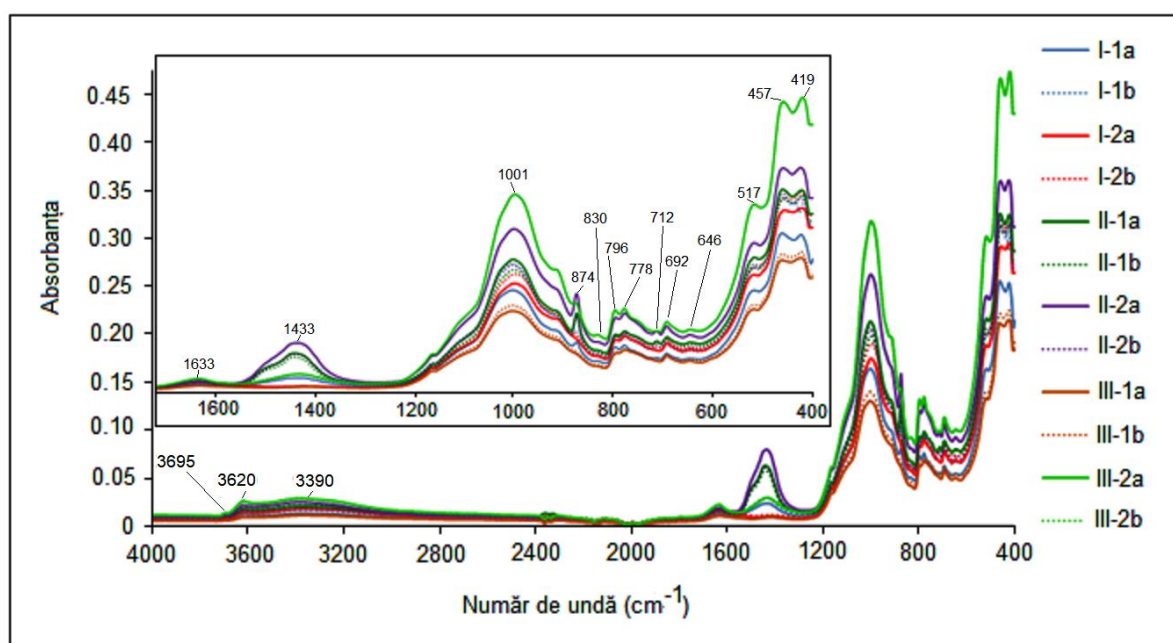


Figura 6.1 Spectrele ATR-FTIR caracteristice unor probe de sol prelevate pe adâncimile 0-5 cm (linie continuă) și 5-30 cm (linie punctată) de pe teritoriile: Tulucești (I-1a, I-1b; I-2a, I-2b), Șendreni (II-1a, II-1b; II-2a, II-2b) și Vădeni (III-1a, III-1b; III-2a, III-2b) (prelucrare după [Moraru, S.-S. ș. a., 2019a, d])

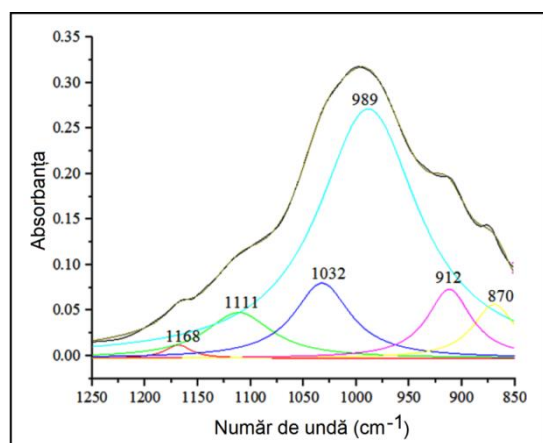


Figura 6.2 Deconvoluția benzilor de absorbție IR în domeniul 1250-850 cm^{-1} [Moraru, S.-S. ș. a., 2019 a, d]

În domeniul spectral 1500-400 cm^{-1} , denumit și “domeniul amprentei spectrale” [Bulgariu, D. ș. a., 2018] au fost identificate benzile de absorbție specifice mineralelor argiloase de tipul montmorillonitului și caolinitului, precum și mineralelor neargiloase, de tipul cuarțului (SiO_2), feldspaților (ortoză (KAlSi_3O_8), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)) și calcitului (CaCO_3). Pentru evidențierea benzilor care compun complexul benzilor de absorbție cuprins în domeniul 850-1250 cm^{-1} a fost realizată deconvoluția spectrelor ATR-FTIR (Figura 6.2).

Spectrele ATR-FTIR caracteristice solurilor selectate sunt similare celor obținute pentru solurile prelevate de [Sion, A. ș. a., 2020] din parcurile municipiului Galați, ceea ce confirmă amprenta mineralogică a regiunii în care s-a desfășurat cercetarea.

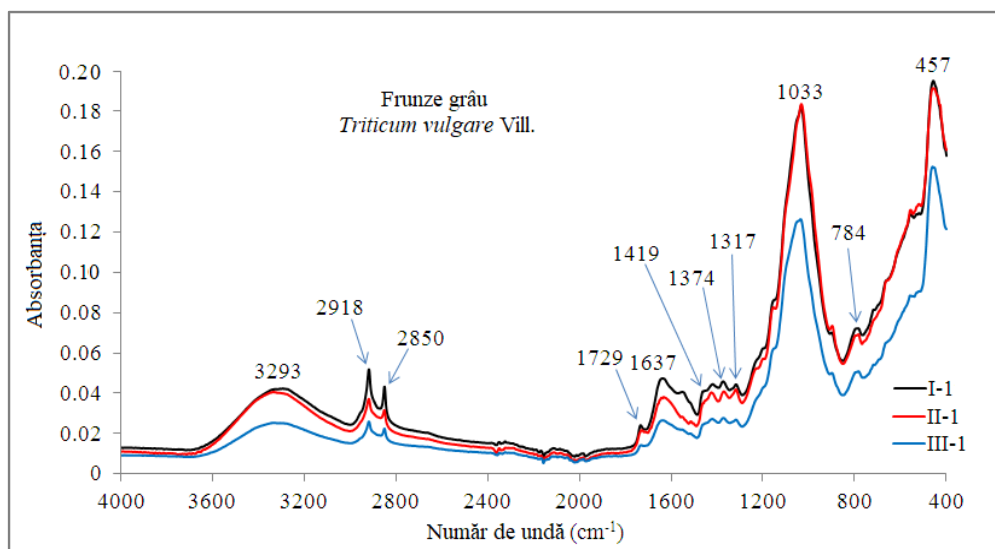
Rezultatele obținute prin aplicarea metodei ATR-FTIR asupra eșantioanelor de sol prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate parțial în cadrul conferinței naționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019a], la conferințele internaționale [Arbaș (Moraru), S.-S. ș. a., 2019 b, c], [Ene, A. ș. a., 2020b], [Moraru, S.-S. ș. a., 2019d] și publicate parțial în lucrările [Moraru, S.-S. ș. a., 2019a, e].

6.2. Identificarea grupărilor funcționale ale compușilor organici din plante prin spectroscopie ATR-FTIR

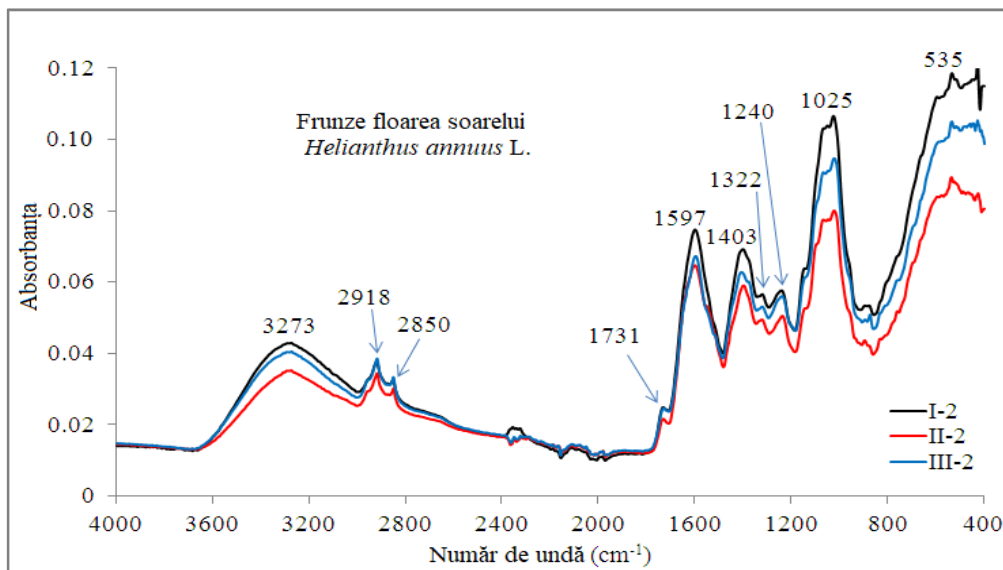
Țesuturile vegetale sunt structuri complexe, constituite din compuși organici în diferite combinații precum: celuloza, lignine, zaharuri, proteine, amidon, lipide, ceară ș.a. Toate acestea au un rol definitoriu în desfășurarea proceselor fiziologice ale plantelor și în nutriția consumatorilor finali, oameni și animale. În Figura 6.3 sunt prezentate spectrele ATR-FTIR caracteristice țesuturilor de grâu și floarea soarelui prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila.

Spectrele ATR-FTIR caracteristice țesuturilor vegetale ale plantelor de cultură analizate au evidențiat prezența următoarelor grupări funcționale: alchine, alcooli, fenoli, amide I și II, acizi carboxilici, alcani, ceea ce indică prezența lipidelor, proteinelor, carbohidraților și acizilor nucleici. În cazul frunzelor de grâu aceste picuri sunt mult mai pronunțate în comparație cu cele identificate în spectrul frunzelor de floarea soarelui (Figura 6.3). Totodată s-au identificat grupări funcționale specifice polizaharidelor, fosfolipidelor, hemicelulozei, xiloglucanilor și pectinei.

Rezultatele obținute prin aplicarea metodei ATR-FTIR asupra eșantioanelor de plante prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni și Vădeni au fost prezentate în cadrul conferinței internaționale [Moraru, S.-S. ș. a., 2019d] și publicate parțial în lucrarea [Moraru, S.-S. ș. a., 2019a]



(a)



(b)

Figura 6.3 Spectrele ATR-FTIR caracteristice unor țesuturi de plante prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila: (a) frunze de grâu, (b) frunze de floarea soarelui (prelucrare după [Moraru, S.-S. ș. a., 2019 a, d])

6.3. Identificarea compoziției mineralogice și structurii morfologice a solului prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectrometrie de raze X cu dispersie după energie (EDX)

Metoda ATR-FTIR a fost completată de rezultatele semicantitative obținute prin tehnica SEM-EDX, fiind identificate următoarele elemente chimice din compoziția elementală a probelor de sol și de plante: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Gd, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Hg. Figura 6.4a redă imaginea SEM, spectrul EDX și harta elementelor prezente în proba de sol analizate.

Micrografiile SEM pun în evidență existența mineralelor argiloase, calcitului, cuarțului și oxizilor elementelor chimice prezente în solurile investigate, identificate prin formațiuni sferice, structuri aplatizate cu margini rotunjite sau muchii.

Pentru cele trei teritorii analizate, rezultatele evidențiază o omogenitate a compoziției elementale. Spectrele EDX caracteristice solurilor studiate pe teritoriul *Tulucești* arată o distribuție procentuală a elementelor în ordinea: O > Si > C > Al > Fe > Ca > K > N > Mg > Zn > Co > Ni > Ti > Na > Mn > P > Cr > S > Cl > Ga > Gd, pentru adâncimea 0-5 cm, și O > Si > C > Al > Fe > Ca > K > Mg > Gd > Ga > Ni > Co > Zn > Ti > Mn > Na > P > S > N > Cr > Cl, pentru adâncimea 5-30 cm. Conținutul procentual al elementelor identificate în solurile din comuna *Șendreni* scade astfel: O > Si > C > Al > Ca > Fe > Hg > K > Gd > Mg > Ga > Cu > Zn > Ni > Co > Na > Ti > Mn > Cr > P > S (0-5 cm) și O > Si > C > Al > Ca > Fe > K > Mg > Ga > Zn > Gd > Cu > Co > Ti > Mn > Ni > Na > V > Cr > P > S (5-30 cm). Pe teritoriul *Vădeni* distribuția pe verticală a elementelor este similară teritoriilor anterior menționate: O > Si > C > Al > Fe > K > Ca > Gd > Ga > Zn > Mg > Cu > Co > Mn > Ti > Ni > Cr > Na > P > S (0-5 cm) și O > Si > C > Al > Fe > K > Ca > Co > Mg > Ti > N > Na > P > S (5-30 cm).

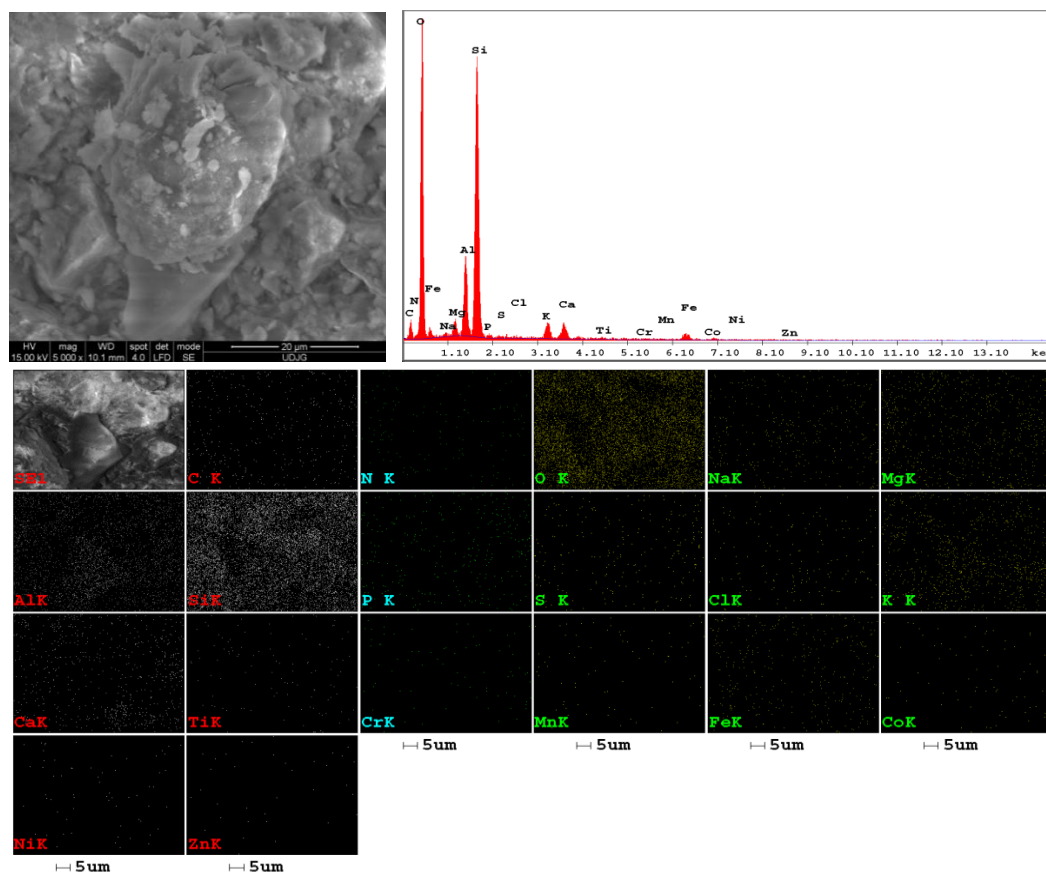
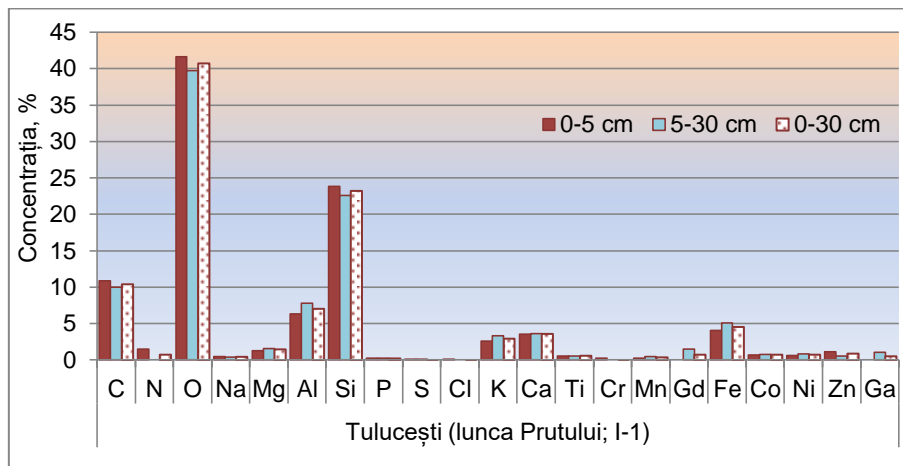


Figura 6.4a Micrografie SEM (5000x), spectru EDX și harta distribuției elementelor caracteristice unui sol prelevat de pe teritoriul Tulucești (extras din Figura 6.4 - teza în extenso)

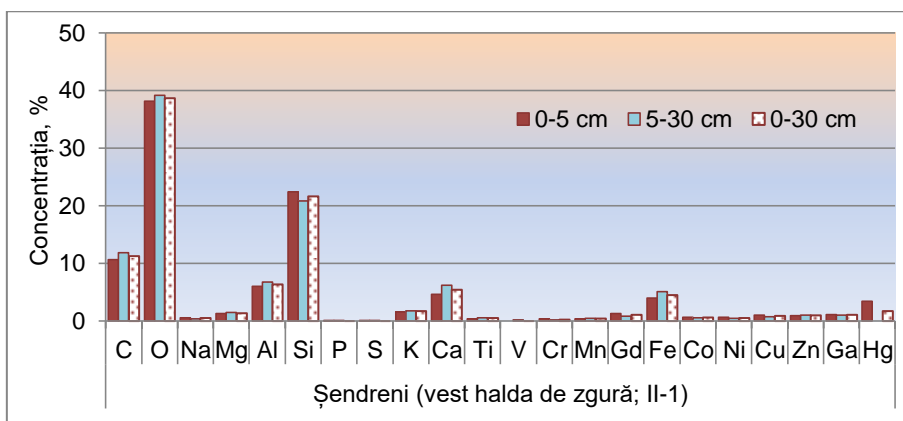
Dintre cele 24 de elemente identificate, cea mai mare concentrație o au O și Si. Nivelul O în stratul agricol 0-30 cm are o valoare medie de 40,69 % în solurile din Tulucești, 38,67 % în solurile din comuna Șendreni și 32,47 % pe teritoriul Vădeni. Conținutul de O în solurile cercetate este ușor scăzut față de valoarea medie raportată pentru scoarța terestră (46 % [<https://ptable.com/#Properties/Series>]). În stratul agricol 0-30 cm, Si înregistrează o medie de 23,22 % pe teritoriul Tulucești, 21,64 %, pe teritoriul Șendreni și de 25,78 % pe teritoriul Vădeni.

În ceea ce privește C, acesta este prezent în limite restrânse, în stratul 0-30 cm al solului agricol înregistrând valori medii de 10,41 % pe teritoriul Tulucești, 11,25 % pe teritoriul Șendreni, și 12,48 % pe teritoriul Vădeni. Valorile obținute pentru C sunt mult mai mari față de media europeană (2,48 %) raportată de [Salminen, R., 2005], pentru orizontul superior al solului și față de valoarea medie a acestui element în scoarța terestră (0,18 % [<https://ptable.com/#Properties/Series>]).

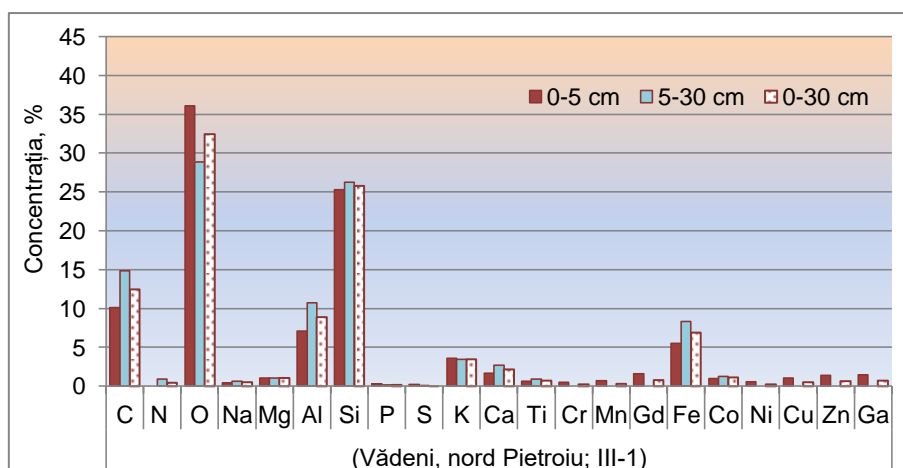
În probele studiate au fost identificate prin metoda EDX și elementele alcaline (Na, Mg, K, Ca), elementele primare și secundare cu rol în nutriția plantelor (N, P și S), precum și metale grele și elemente rare: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Ga și Gd, distribuția procentuală a concentrațiilor fiind redată în Figura 6.5.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.5 Distribuția concentrației elementare medii obținută prin metoda EDX specifică solurilor selectate din arealul studiat: (a) Tuluțești (Iunca Prutului; I-1), (b) Șendreni (vest halda de zgură; II-1), (c) Vădeni (nord Pietroi; III-1)

6.4. Identificarea compoziției mineralogice și structurii morfologice a plantelor de cultură prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) cuplată cu spectrometrie de raze X cu dispersie după energie (EDX)

Aplicarea tehnicii SEM-EDX pentru investigarea țesuturilor de plante, prelevate de pe teritoriile cu folosința arabil, învecinate combinatului siderurgic, s-a dovedit a fi o metodă foarte bună, atât pentru analiza morfologică, cât și pentru cea structurală. Figura 6.6 prezintă micrografiile SEM (5000x), spectrele EDX și hărțile elementelor caracteristice unor eșantioane de cariopse de grâu, porumb, precum și achene de floarea soarelui (comunele Tulucești, Șendreni, județul Galați, și Vădeni, județul Brăila). Prin săgeți și acronime s-au marcat părțile morfologice identificate pentru secțiunile fiziologice ale boabelor/ semințelor studiate conform [Heneen, W.K. și Brismar, K., 1987], [Shorstkii, I.A. ș. a., 2019], [Scheuer, P.M. ș. a., 2011]. Sub aspect morfologic micrografiile SEM au pus în evidență atât elementele structurale ale țesuturilor plantelor, care îndeplinesc funcții fiziologice importante (pereți celulari, membrane celulare), cât și substanțe organice (lipide, amidon, proteine).

Imaginile SEM au fost completate de rezultatele semicantitative obținute prin metoda EDX privind compoziția mineralogică, fiind identificat un număr de 23 de macro-, microelemente și elemente urmă, prezente și în solurile pe care au fost cultivate plantele analizate (C, O, N, P, K, Mg, Ca, Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Na, Cl, Al, Si, S, Cr, Pb, Hg, Ni, Cd, Ti). Figura 6.6a prezintă micrografia SEM (5000x), spectrul EDX și harta elementelor caracteristice unui eșantion de cariopse de grâu.

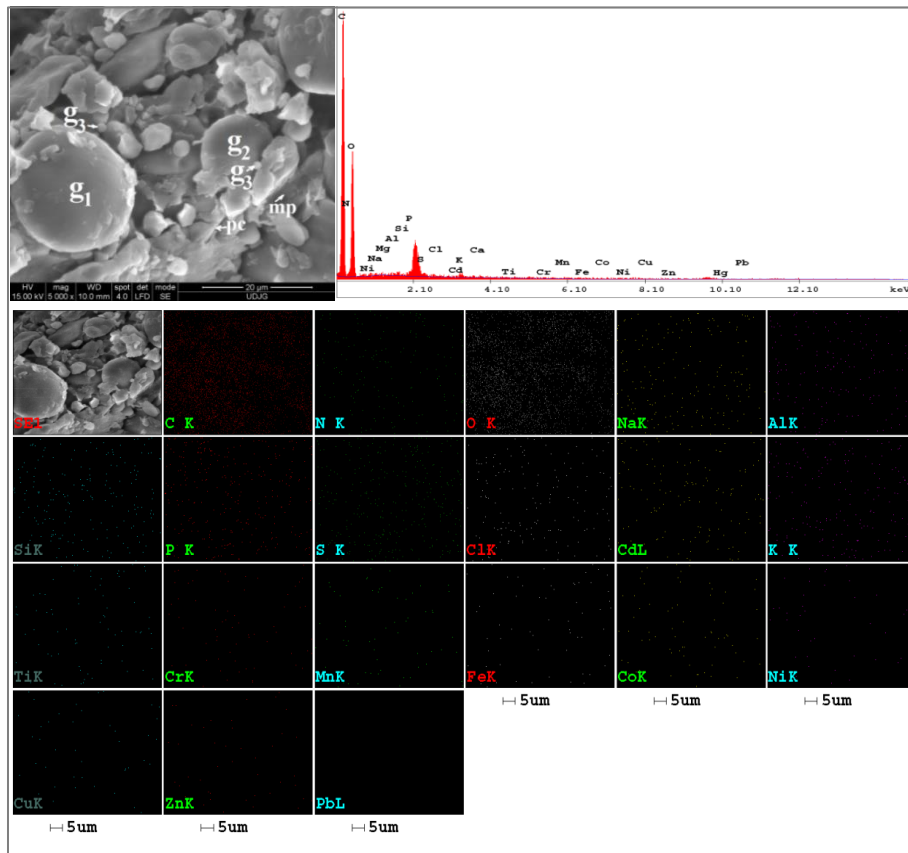


Figura 6.6a Micrografie SEM (5000x), spectru EDX și harta elementelor caracteristice unui eșantion de cariopse de grâu (*Triticum vulgare* Vill.) - granulă de amidon mare (g₁), granulă de amidon medie (g₂), granulă de amidon mică (g₃), matrice proteică (mp), perete celular (pc) - extras din Figura 6.6 (teza in extenso)

6.5. Concluzii parțiale

Pentru cercetarea morfologiei și compoziției mineralogice a solurilor agricole și plantelor cultivate pe acestea s-au utilizat tehnicile de analiză ATR-FTIR și SEM-EDX.

Tehnica ATR-FTIR este o metodă calitativă, care prin spectrele caracteristice generate a permis identificarea grupărilor funcționale caracteristice mineralelor și compușilor organici prezente în probele de sol și de plante. Analiza spectrală a solului a evidențiat prezența mineralelor argiloase (montmorillonit și caolinit) și neargiloase (calcit, dolomit, gipsit, feldspati și cuarț). În țesuturile vegetale s-au putut identifica grupările funcționale prezente în compușii organici precum celuloza, ligninele, zaharurile, proteinele, amidonul etc.

Rezultatele obținute prin metoda ATR-FTIR au fost completate de cele obținute prin tehnica SEM-EDX, care a permis estimarea compoziției mineralogice și a existenței micro și macroelementelor pe microarii ale probelor de mediu. Prin metoda SEM s-a efectuat analiza micromorfologică și structurală a probelor de sol și de plante, confirmând rezultatele obținute prin analiza spectrelor ATR-FTIR. Metoda EDX a permis obținerea unor informații semicantitative privind concentrația elementelor din probele analizate. Prin această metodă s-au identificat, atât în probele de sol, cât și în cele de plante următoarele elemente: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Gd, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Hg. Spectrele EDX și hărțile distribuției elementale au evidențiat prezența mai ales a O și Si în probele de sol, elemente dominante, care formează compuși complecși prin asocierea cu celelalte elemente chimice prezente în matricea solului. În cazul țesuturilor de grâu, porumb și floarea soarelui s-au evidențiat elementele C și O, prezente în mod obișnuit în matricea organică.

7. EVALUAREA NIVELULUI DE POLUARE A SOLULUI PRIN INTERMEDIUL INDICILOR DE POLUARE SIMPLI ȘI COMPLEXEȘI

7.1. Aprecierea gradului de poluare a solului prin indici de poluare simpli

În vederea evaluării nivelului de poluare a solului în raport cu fondul natural geochemic s-au calculat, conform metodelor menționate în subcapitolul 2.3.3 al prezentei lucrări, următorii indici de poluare simpli pentru fiecare dintre cele două adâncimi standard, 0-5 cm și 5-30 cm: Indicele de geoacumulare (I_{geo}), Factorul de îmbogățire (EF) și Indicele individual de poluare (PI).

Evaluarea poluării solului prin intermediul Indicelui de geoacumulare (I_{geo})

Prin *indicele I_{geo}* se apreciază poluarea solului în funcție de raportul dintre concentrația metalului în probele analizate și concentrația medie a metalului respectiv în fondul natural. Variația I_{geo} în arealul studiat este redată în Figura 7.1.

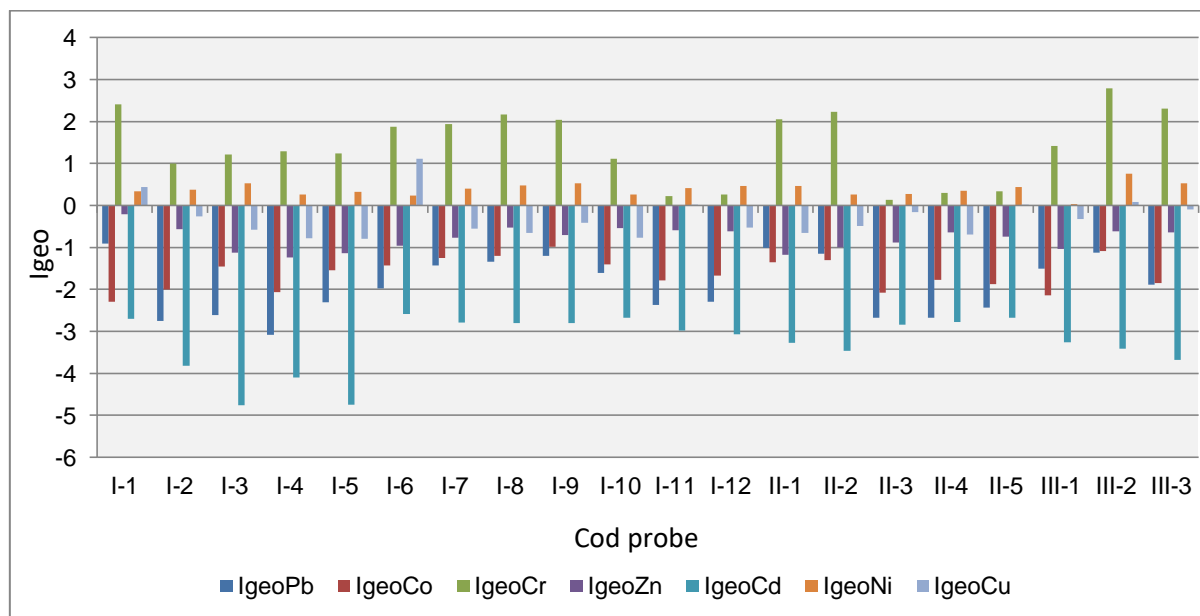


Figura 7.1 Variația Indicelui de geoacumulare (I_{geo}) mediu pe adâncimea 0-30 cm a solurilor agricole prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Rezultatele au evidențiat că cele mai scăzute valori ale indicelui de geoacumulare s-au înregistrat pentru $I_{geo_{Cd}}$, $I_{geo_{Co}}$, $I_{geo_{Pb}}$, $I_{geo_{Zn}}$ și $I_{geo_{Cu}}$, încadrând solul la clasa 0 (nepoluat).

Spre deosebire de indicii de geoacumulare anterior menționați, pentru elementele Cr și Ni situația este diferită. În cazul $I_{geo_{Cr}}$ se constată că punctual, acolo unde valorile concentrației medii de Cr din stratul 0-30 cm înregistrează valori care depășesc pragul de alertă pentru folosințe sensibile, valorile medii încadrează solul la clasa 3 (sol moderat-puternic poluat). Valorile medii ale $I_{geo_{Ni}}$ încadrează solul la clasa 1 (nepoluat-moderat poluat).

Prin urmare se constată că arealul studiat valorile obținute pentru indicii de geoacumulare scad în ordinea: $I_{geo_{Cd}} > I_{geo_{Pb}} > I_{geo_{Co}} > I_{geo_{Zn}} > I_{geo_{Cu}} > I_{geo_{Ni}} > I_{geo_{Cr}}$.

Evaluarea poluării solului prin intermediul Factorului de îmbogățire (EF)

Factorul de îmbogățire (EF) a fost calculat în funcție de Al, Ca și Mn. Rezultatele au evidențiat următoarele aspecte:

EF calculat în funcție de Al prezintă cele mai scăzute valori pentru Pb, Co și Cd pentru toate probele analizate, încadrând solul la *clasa 1* (carență-îmbogățire slabă). Pentru elementele Cr, Zn, Ni și Cu rezultatele prezintă o variabilitate, care încadrează solul de la *clasa 0* la *clasa 4*, respectiv de la carență-îmbogățire slabă (sol nepoluat-slab poluat), la îmbogățire foarte ridicată (sol foarte poluat).

Sintetizând rezultatele factorului de îmbogățire a solului cu metale în funcție de Al, se constată o acumulare accentuată a Cr și una mai puțin evidentă a Cd, Co și Pb. EF scade în ordine: $EF_{Cr} > EF_{Ni} > EF_{Cu} > EF_{Zn} > EF_{Co} > EF_{Pb} > EF_{Cd}$, fără diferențe între cele trei teritorii.

După *EF calculat în funcție de Ca* solurile sunt clasificate astfel: pentru toate probele analizate, îmbogățirea solului cu Cd, Co și Pb este la nivel de carență-îmbogățire slabă, solul fiind de la nepoluat la slab poluat (*clasa 1*). EF_{Cr} clasifică solul la *clasa 3*, îmbogățire semnificativă cu Cr, *clasa 2*, îmbogățire medie cu Cr și *clasa 1*, carență-îmbogățire slabă cu Cr. Valorile obținute pentru EF_{Zn} indică o îmbogățire medie cu Zn (*clasa 2*) și o carență-îmbogățire slabă cu Zn (*clasa 1*). Îmbogățirea cu Ni variază de la o îmbogățire semnificativă cu Ni (*clasa 3*) la o îmbogățire medie cu Ni (*clasa 2*) și carență-îmbogățire slabă cu Ni (*clasa 1*). Din punct de vedere al îmbogățirii solului cu Cu, solurile sunt încadrate în: *clasa 2* și *clasa 1*.

În arealul studiat, se constată că, după calculul EF în funcție de Ca, ordinea îmbogățirii solurilor cu metale grele este: $EF_{Cr} > EF_{Ni} > EF_{Cu} > EF_{Zn} > EF_{Co} > EF_{Pb} > EF_{Cd}$.

EF calculat în funcție de Mn a evidențiat următoarele: cele mai scăzute rezultate s-au obținut pentru EF_{Cd} , toate probele analizate fiind situate în intervalul de carență-îmbogățire slabă (*clasa 1*). După EF_{Pb} și EF_{Co} , solul prezintă același ordin de mărime al îmbogățirii, solurile fiind clasificate astfel: îmbogățit mediu (*clasa 2*) și cu carență-îmbogățire slabă (*clasa 1*). În ceea ce privește valorile pentru EF_{Cr} , rezultatele au arătat că solul prezintă o îmbogățire foarte ridicată (*clasa 4*), semnificativă (*clasa 3*), medie (*clasa 2*) și carență-îmbogățire slabă (*clasa 1*). Zincul s-a acumulat mai puțin în sol conform EF_{Zn} , valorile încadrând solul la *clasa 2* și *clasa 1*.

Solul prezintă o îmbogățire semnificativă (*clasa 3*) cu Ni, dar și o acumulare medie (*clasa 2*). În cazul Cu îmbogățirea este evidentă, valorile EF_{Cu} fiind situate în intervalul de valori aferent clasei 3, dar punctual solul prezintă și o îmbogățire medie (*clasa 2*) și slabă (*clasa 1*).

Din punct de vedere al evaluării EF în funcție de Mn, ordinea îmbogățirii solului cu metale este: $EF_{Cr} > EF_{Ni} > EF_{Cu} > EF_{Zn} > EF_{Co} > EF_{Pb} > EF_{Cd}$.

Analizând cele trei situații se observă că, pe ansamblu, EF al probelor de sol prelevate de pe teritoriile Tulucești, Vădeni și Șendreni nu evidențiază diferențieri semnificative. Cu toate acestea, pentru unele puncte de prelevare rezultatele conduc spre o clasificare diferită. Valorile obținute prin raportare la Al și Mn sunt mai apropiate ca încadrare pentru elementele Cr și Ni, spre deosebire de valorile calculate în funcție de Ca, care generează o încadrare într-o clasă mai mică de îmbogățire. Pentru elementele Pb, Co, Cd, Zn și Cu valorile calculate cu Al și Ca sunt similare ca și clasificare, spre deosebire de cele obținute cu Mn, care conduc la o încadrare într-o clasă superioară.

Evaluarea poluării solului prin intermediul Indicelui individual de poluare (PI)

Poluarea solului cu metale grele și elemente urmă a fost evaluată și în funcție de Indicele individual de poluare (PI), care arată care dintre elementele analizate generează cel mai ridicat nivel de contaminare. Pe baza acestui indice se calculează o parte dintre indicii complecși (PISum, $PI_{Nemerow}$, PLI, PIN). Figurile 7.3 și 7.4 prezintă variația valorilor PI și PISum pentru stratul agricol 0-30 cm.

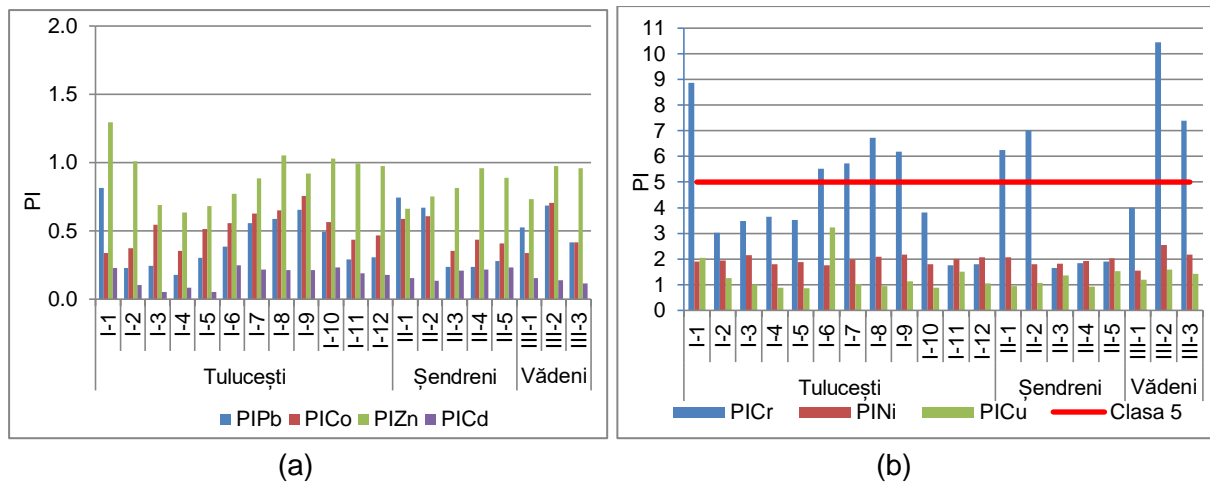


Figura 7.3 Variația Indicelui individual de poluare (PI) în stratul 0-30 cm al solurilor agricole prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila: a) PI_{Pb} , Co, Zn, Cd, b) PI_{Cr} , Ni, Cu

Rezultatele pentru PI_{Cr} evidențiază că stratul 0-30 cm al solurilor agricole este foarte puternic poluat (*clasa 5*), puternic poluat (*clasa 4*) și moderat poluat (*clasa 3*). În ceea ce privește poluarea cu Ni, valorile indicelui de poluare PI arată că o poluare slabă a solului (*clasa 2*), moderată (*clasa 3*). În cazul Cu se constată o contaminare slabă a solului (*clasa 2*), și dideminat o poluare puternică (*clasa 4*). Valorile PI_{Zn} încadrează solul la nepoluat (*clasa 1*) și slab poluat (*clasa 2*). Din punct de vedere al PI, solurile nu sunt poluate cu Pb Co și Cd (*clasa 1*). Rezultatele obținute pentru PI respectă același trend al clasificării ca EF: $PI_{Cr} > PI_{Ni} > PI_{Cu} > PI_{Zn} > PI_{Co} > PI_{Pb} > PI_{Cd}$.

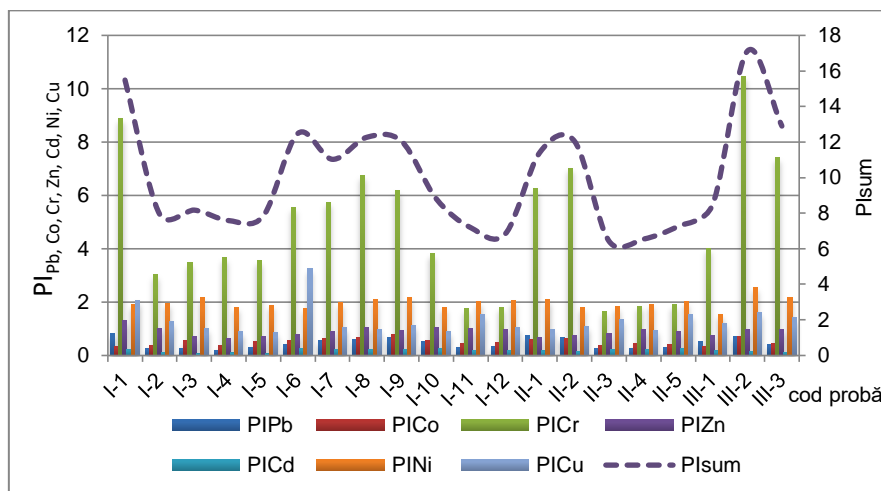


Figura 7.4 Distribuția valorilor Indicelui individual de poluare (PI) în stratul 0-30 cm al solurilor agricole și variația PI_{sum} după valorile PI

7.2. Aprecierea gradului de poluare a solului prin indici de poluare complecși

Indicii de poluare complecși au fost utilizați pentru aprecierea nivelului global de contaminare cu metale grele a solului, precum și riscul asociat acestuia.

Evaluarea poluării solului prin intermediul Factorului de contaminare (PIN), a Indicelui de poluare Nemerow ($PI_{Nemerow}$) și al Indicelui global de poluare (PLI)

Indicele $PI_{Nemerow}$ a fost calculat după valorile PI și încadrează solul analizat în trei clase de poluare. Astfel, pentru probele de sol prelevate din stratul 0-30 cm, rezultatele medii arată un nivel de poluare distribuit în ordinea: sol puternic poluat, clasa 5 în punctele I-1, III-2; sol moderat poluat, clasa 4 în punctele I-6, I-7, I-8, I-9, II-1; sol slab poluat, clasa 3 în punctele I-2, I-3, I-4, I-5, I-10, III-1; sol nepoluat, clasa 2 în punctele I-11, I-12, II-3, II-4, II-5.

Indicele PLI, calculat ca medie geometrică a valorilor PI, indică poluarea solului pentru punctele de prelevare I-1, I-6, I-8, I-9 și III-2, în timp ce pentru restul probelor analizate, rezultatele arată că solul este necontaminat.

Evaluarea nivelului de contaminare a solului a fost realizată și în funcție de indicele PIN, conform formulei din subcapitolul 2.3.3 al tezei in extenso. Rezultatele au pus în evidență că solul este slab contaminat (clasa 3) în punctele de prelevare I-1, I-6, I-7, I-8, I-9 și foarte slab contaminat (clasa 2), în punctele de prelevare I-2, I-3, I-4, I-5, I-10, I-11, I-12, II-3, II-4, II-5 și III-1. Variația valorilor medii PIN în stratul 0-30 cm, redată în Figura 7.5, arată că cea mai mare contribuție la încadrarea solului după acest indice o are nivelul de Cr.

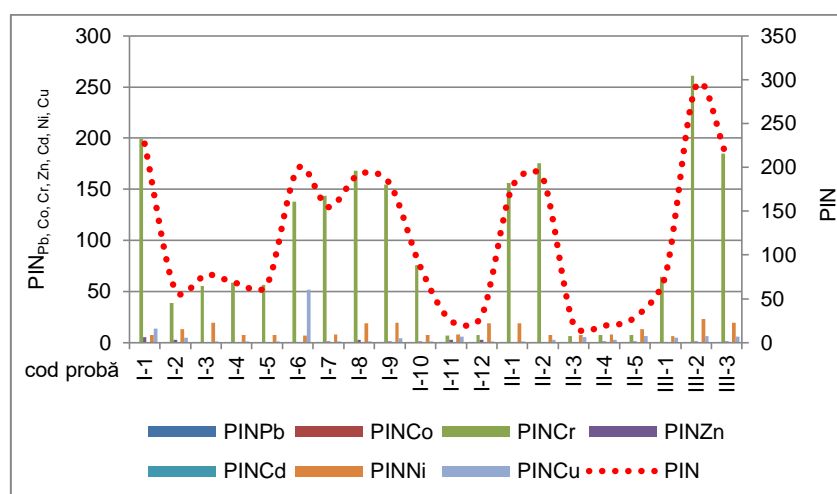


Figura 7.5 Variația valorilor Factorului de contaminare (PIN), în stratul 0-30 cm, al solurilor prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Evaluarea poluării solului prin intermediul Indicelui riscului ecologic potențial (PERI)

Riscul ecologic potențial a fost apreciat după indicele complex PERI, care constă în suma factorilor de risc ecologic (Er) ai elementelor toxice sau cu potențial toxic analizate. Er a fost calculat conform subcapitolului 2.3.3 al tezei in extenso. Rezultatele au evidențiat că nivelul metalelor grele în solurile studiate induce un risc ecologic scăzut. Valorile Er sunt distribuite astfel: $Er_{Ni} > Er_{Cr} > Er_{Cu} > Er_{Cd} > Er_{Pb} > Er_{Zn}$. Se constată că riscul ecologic crește cu concentrația elementului în sol și toxicitatea determinată de acesta. Variația PERI în funcție de Er este redată în Figura 7.6.

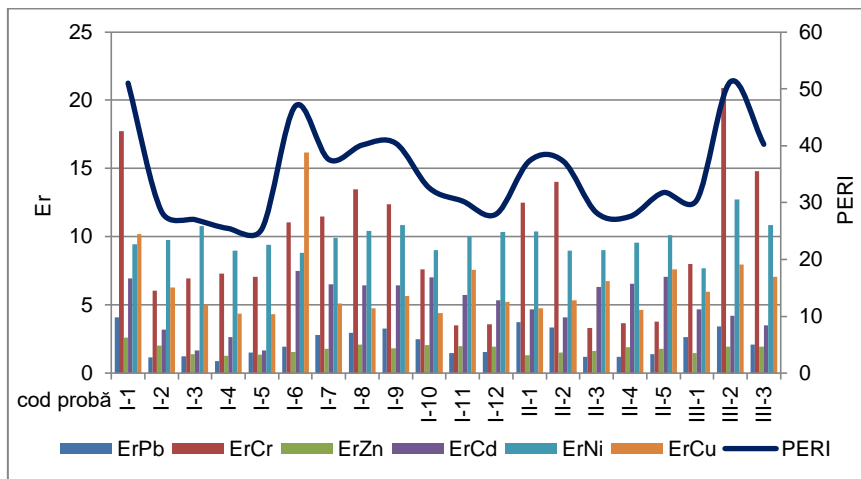


Figura 7.6 Variația Indicelui riscului ecologic potențial (PERI) mediu în funcție de Factorul de risc ecologic potențial (Er), în stratul 0-30 cm, al solurilor agricole prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

Evaluarea poluării solului prin intermediul Indicelui de intensitate a poluării (CSI)

Un alt indice complex este CSI, care oferă informații despre intensitatea globală a poluării în funcție de următorii factori: greutatea specifică a metalului calculată statistic de [Pejman, A. ș. a., 2015](#), ERL și ERM, conform subcapitolului 2.3.3 (teza in extenso). Valorile obținute încadrează solul în *clasa 2* (nivel foarte scăzut de contaminare a solului), pentru punctele de prelvare I-2...I-7, I-10...I-12, II-1...II-5 și III-1 și în *clasa 3* (nivel scăzut de contaminare a solului), pentru punctele de prelvare I-1, I-8, I-9, III-2 și III-3. Variația acestui indice este prezentată în Figura 7.7.

În legătură cu CSI este indicele MERMQ, care se bazează pe suma rapoartelor dintre concentrația elementului în sol și valoarea ERM a elementului respectiv, conform subcapitolului 2.3.3 (teza in extenso). Acest indice oferă o imagine asupra nivelului de risc asociat poluării cu metale grele din sursă antropogenă și stabilește probabilitatea procentuală a toxicității metalelor. Rezultatele arată că, în arealul studiat, nivelul metalelor acumulate în solurile arabile induc un risc mediu, cu o probabilitate a toxicității de 21 %.

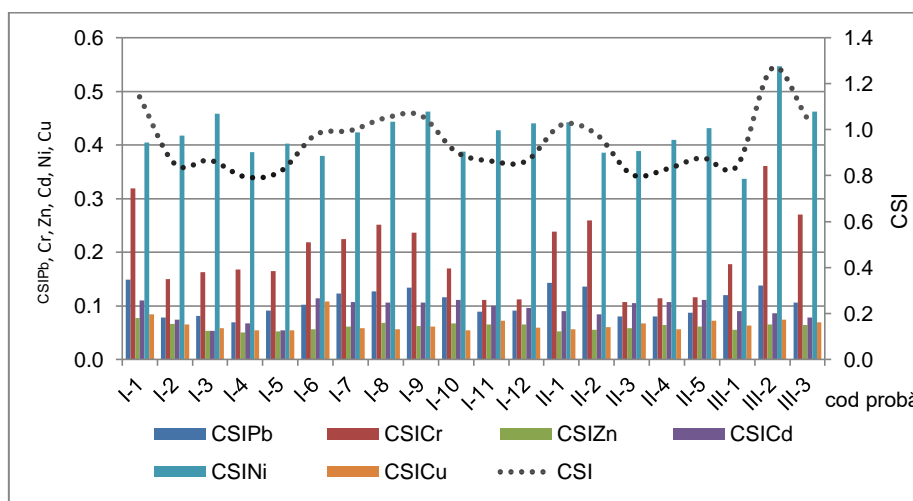


Figura 7.7 Variația Indicelui de intensitate a contaminării (CSI) mediu în stratul 0-30 cm al solurilor agricole prelevate de pe teritoriile Tulucești, Șendreni, județul Galați și Vădeni, județul Brăila

7.3. Concluzii parțiale

Poluarea solului cu elemente chimice provenite din desfășurarea activităților antropice este o problemă de actualitate, cu atât mai mult cu cât aceasta poate genera riscuri majore asupra siguranței alimentare și sănătății oamenilor.

Evaluarea nivelului de contaminare a solului cu metale grele s-a efectuat prin calcularea indicilor de poluare simpli și complecși. Rezultatele obținute au evidențiat îmbogățirea fondului geochimic natural cu elemente antropice. Prin intermediul acestor indici a fost posibilă analiza spațială a nivelului contaminării, atât ca distribuție teritorială, cât și pe strate de sol.

Se constată că în funcție de concentrațiile metalelor grele din sol și coeficienții introduși în calcul, valorile indicilor de poluare încadrează solul în clase de contaminare de la nepoluat la foarte puternic poluat.

8. BIOACUMULAREA METALELOR GRELE PRIN SISTEMUL SOL-PLANTĂ

8.1. Evaluarea poluării grâului cu metale grele

Grâul, alături de porumb, este una dintre cele mai cultivate plante agricole în întreaga lume (216 mil. ha, 757 mil. tone în perioada 2017-2019 [Erenstein, O. et al., 2021]), astfel încât este esențial studiul bioacumulării elementelor nutritive, toxice și cu potențial toxic mai ales în părțile comestibile ale plantei. Studiile au arătat că se impune prudență în ceea ce privește cultivarea acestei plante pe terenuri agricole poluate sau care sunt situate în aria de influență a zonelor industriale, miniere, cu trafic intens, precum și în alegerea tipurilor de îngrășăminte și tratamente fitosanitare, care trebuie să respecte condițiile agropedologice, întrucât se remarcă o tendință a acestei specii de a bioacumula elemente cu potențial toxic și în boabe.

În condițiile ecopedologice prezentate, s-a constatat că grâul nu este un bioacumulator al Cd, Co, Cr, Ni, Pb și Zn (Figura 8.1, 8.2). O situație aparte o prezintă factorul de bioacumulare al elementului Cu. Pe teritoriul Tuluțești, pe ansamblu, grâul nu prezintă bioacumulare evidentă, cu excepția cariopselor aferente probei I-1-c (Tuluțești), pentru care FB are o valoare de 1,2443. Pe teritoriile Șendreni și Vădeni bioacumularea este evidentă mai ales în cariopse în punctele de prelevare II-1-c și III-1-c, dar și în funzele prelevate din punctul III-1-f (Figura 8.3).

Bioacumularea în aceste probe poate fi explicată prin depunerea pulberilor încărcate cu elemente toxice din aer, precum și tratamentele fitosanitare care conțin Cu. Totodată, se observă o bioacumulare a zincului în cariopsele din punctele de prelevare III-4-c și III-5-c.

Se constată că în condițiile agroecologice subliniate în celelalte capitole ale lucrării, bioacumularea metalelor în organele vegetale ale grâului respectă, pe ansamblu, ordinea frunze>cariopse pentru Cd, Co, Cr, Ni și Pb, iar pentru Cu și Zn, cariopse>frunze.

Bioconcentrarea elementelor în frunzele de grâu scade în ordinea: Zn>Cu>Cd>Pb>Ni >Co>Cr. În cazul cariopselor, ordinea bioacumulării este: Cu>Zn>Cd>Pb>Ni>Co>Cr.

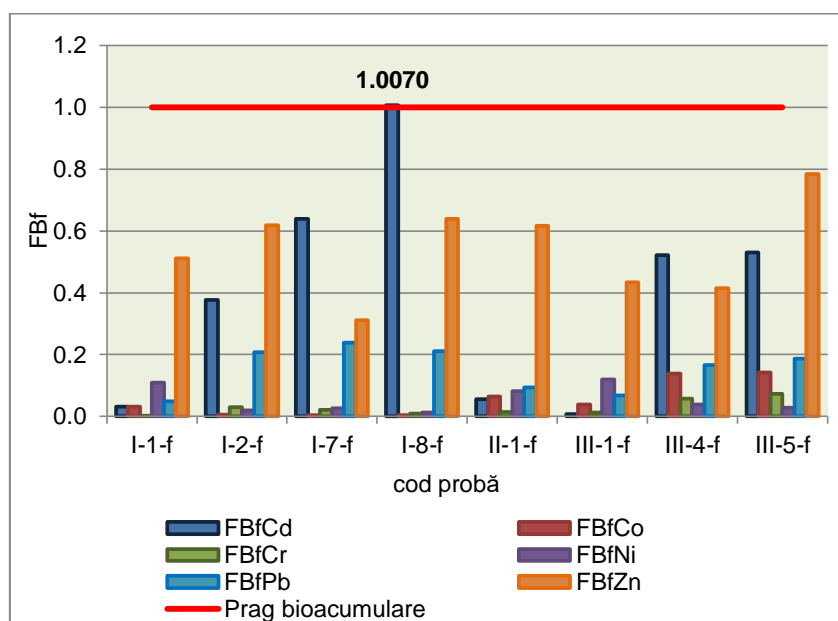


Figura 8.1 Factorul de bioacumulare a Cd, Cr, Co, Ni, Pb și Zn în frunzele de grâu

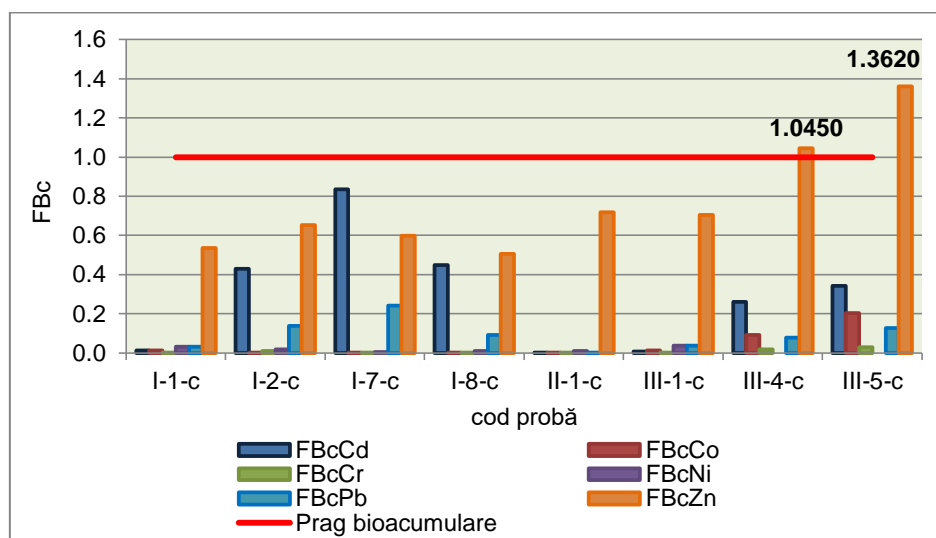


Figura 8.2 Factorul de bioacumulare a Cd, Cr, Co, Ni, Pb și Zn în cariopsele de grâu

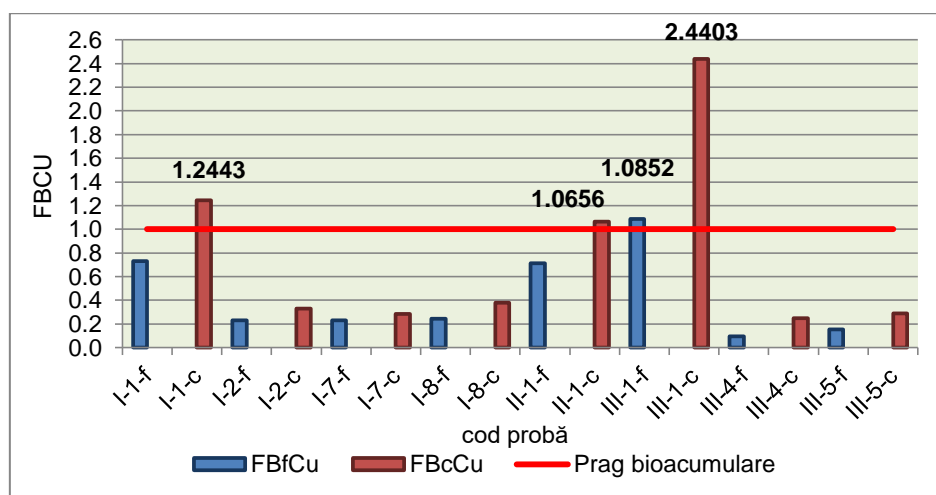


Figura 8.3 Factorul de bioacumulare a Cu în frunzele și cariopsele de grâu

8.2. Evaluarea poluării porumbului cu metale grele

Porumbul a captat atenția cercetătorilor, fiind una dintre plantele cu potențial de fitoextracție pentru anumite metale. În întreaga lume, în perioada 2017-2019 au fost cultivate cu această plantă 197 mil. ha, de pe care a fost obținută o recoltă de 1137 mil. tone [Erenstein, O. ș. a., 2021], ceea ce arată că este una dintre cele mai consumate cereale. Deși studiile au arătat că porumbul acumulează metalele grele mai mult în rădăcină, tulpină și frunze, este necesară o monitorizare atentă a culturilor, mai ales că întreaga plantă poate fi utilizată la producția furajelor pentru animale [Ion, V., 2010].

În ceea ce privește bioacumularea metalelor grele în frunzele și cariopsele de porumb, se constată că pentru toate elementele analizate (Figurile 8.4, 8.5, 8.6) FB înregistrează, pe ansamblu, valori sub 1, ceea ce indică o capacitate de fitoextracție redusă a acestora, în condițiile ecologice în care porumbul a fost cultivat.

Bioacumularea metalelor în organele vegetale ale porumbului respectă, pe ansamblu, ordinea frunze>cariopse. Factorul de bioacumulare prezintă valori în frunzele de porumb care scad în ordinea: Cu>Zn>Cd>Pb>Co>Cr>Ni. În cazul cariopselor, ordinea bioacumulării este: Zn>Cd>Pb>Cu>Co>Cr>Ni.

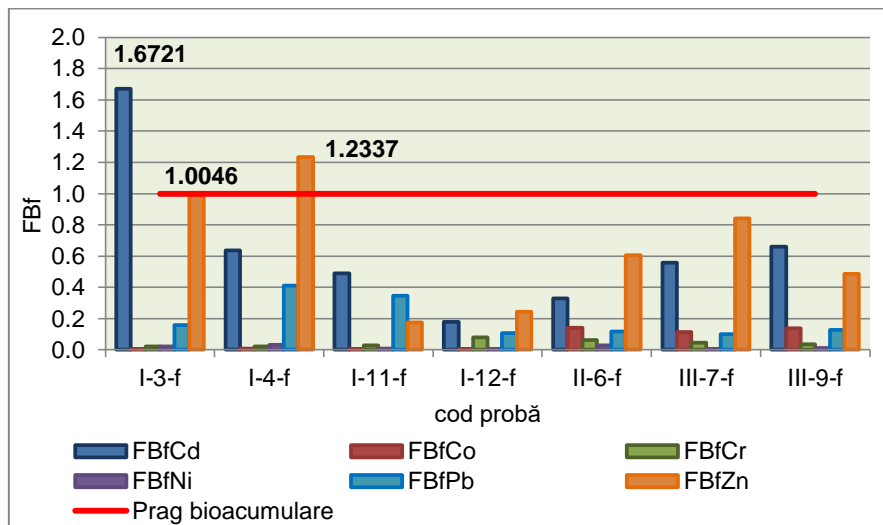


Figura 8.4 Factorul de bioacumulare a Cd, Cr, Co, Ni, Pb și Zn în frunzele de porumb

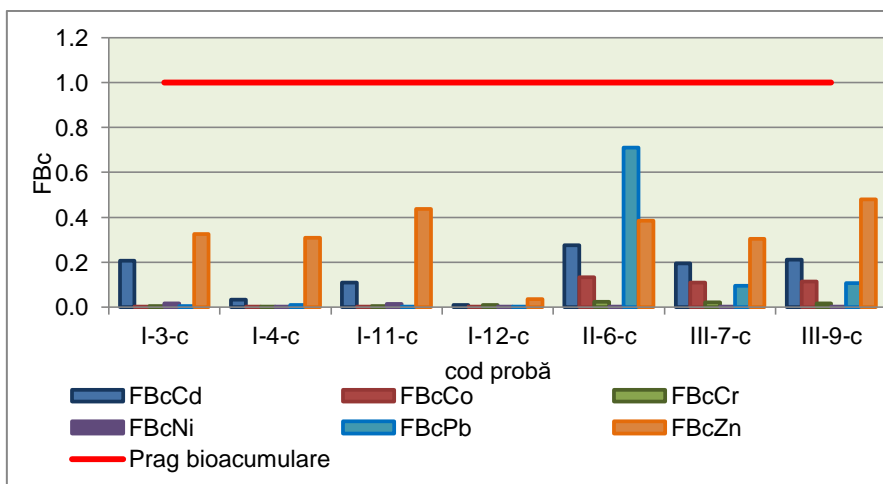


Figura 8.5 Factorul de bioacumulare a Cd, Cr, Co, Ni, Pb și Zn în cariopsele de porumb

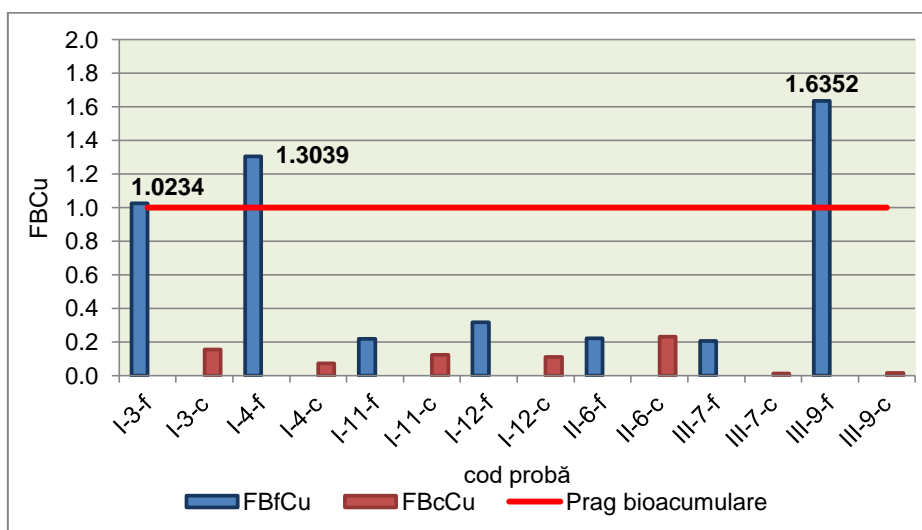


Figura 8.6 Factorul de bioacumulare a Cu în frunzele și cariopsele de porumb

8.3. Evaluarea poluării florei-soarelui cu metale grele

Floarea soarelui este o plantă foarte apreciată, atât din punct de vedere al calităților nutritive [Khan, S. ș. a., 2015], cât și pentru producția de biocombustibil [Antolin, G. ș. a., 2002], [Tutunea, D. ș. a., 2018]. Numeroase studii au arătat capacitatea sa de fitoextracție, acumulând metale grele mai ales în rădăcină și tulpină.

Rezultatele obținute pentru factorii de bioacumulare a metalelor în secțiunile florei soarelui evidențiază o bioconcentrare diseminată a Cu, Cd și Zn atât în frunze, cât și în achene (Figurile 8.7, 8.8, 8.9, 8.10). Pe ansamblu, FB scade în frunze în ordinea: Cu<Cd<Zn<Pb<Co<Ni<Cr, iar în cariopse, în ordinea: Cu<Cd<Zn<Ni<Pb<Cr<Co.

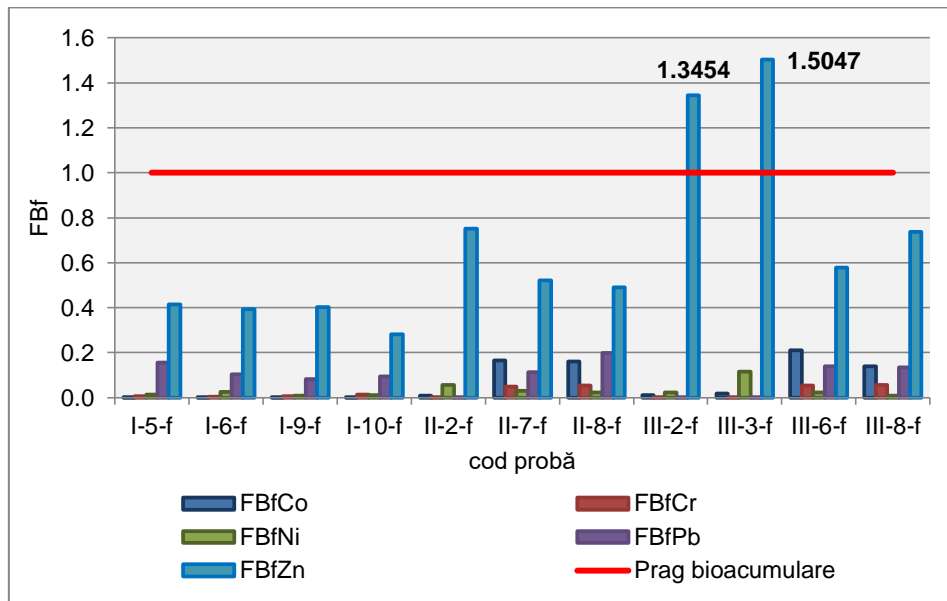


Figura 8.7 Factorul de bioacumulare a Cr, Co, Ni, Pb și Zn în frunzele de floarea soarelui

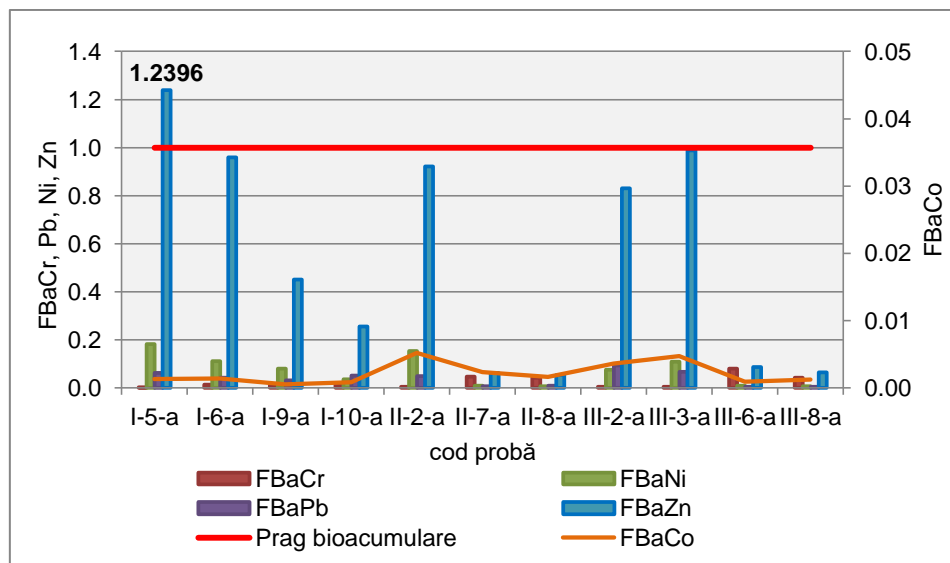


Figura 8.8 Factorul de bioacumulare a Cr, Co, Ni, Pb și Zn în achenele de floarea soarelui

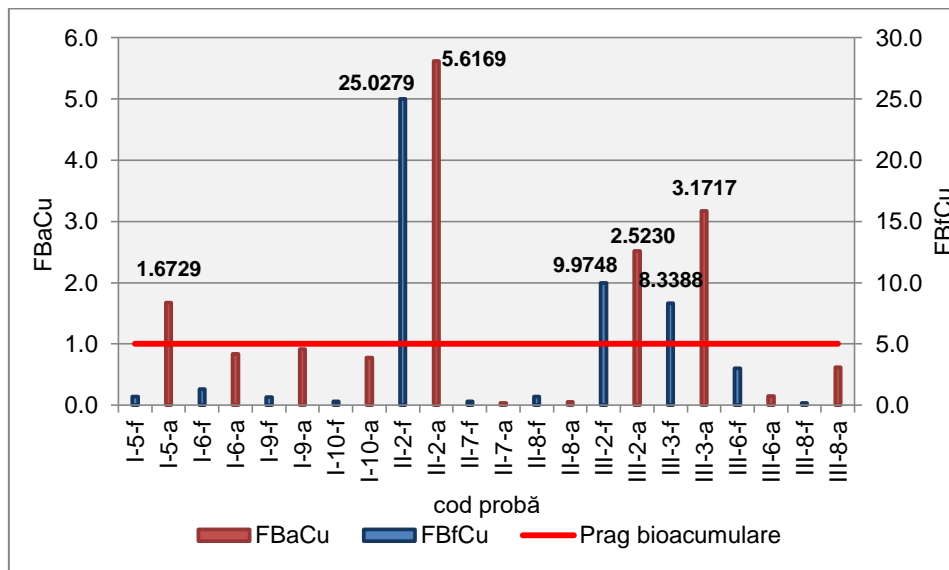


Figura 8.9 Factorul de bioacumulare a Cu în frunzele și achenele de floarea soarelui

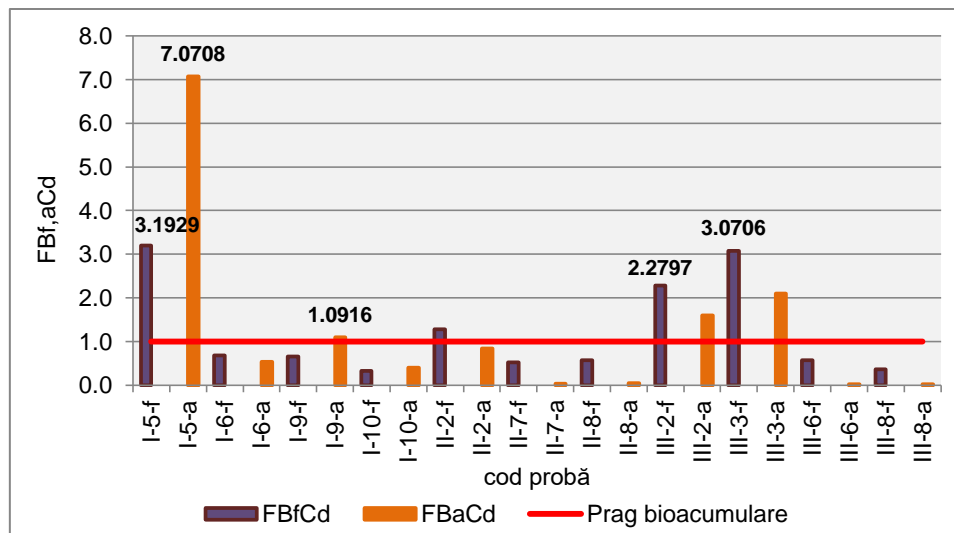


Figura 8.10 Factorul de bioacumulare a Cd în frunzele și achenele de floarea soarelui

8.4. Concluzii parțiale

Pe baza concentrațiilor elementale determinate prin metodele HR-CS AAS și ICP-MS s-au calculat factorii de bioacumulare a metalelor grele în țesuturile de grâu, porumb și floarea soarelui. Rezultatele au evidențiat că plantele selectate acumulează metale grele mai mult la nivelul frunzelor, decât în cariopse/achene. Valorile rezultate prin determinarea acestui factor indică selectivitatea speciilor de plante agricole în bioconcentrarea micro și macroelementelor, în acord cu structura lor morfologică și condițiile edafice locale.

9. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Concluzii generale

Lucrarea de doctorat **"Cercetări privind impactul activităților industriei siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente"** a urmărit analiza complexă a solului, precum și a principalelor plante agricole cultivate pe acesta (grâu, porumb și floarea soarelui), prin îmbinarea metodelor clasice de investigare cu tehnicile spectroscopice și nucleare avansate de analiză a probelor de mediu. Studiile interdisciplinare efectuate prin utilizarea acestor tehnici complementare a permis evaluarea nivelului de contaminare a solului agricol cu micro-, macroelemente și elemente urmă, până la adâncimea de 30 cm, precum și cuantificarea bioconcentrării acestor elemente în plantele cultivate pe acesta.

Prin rezultatele obținute această lucrare aduce contribuții la baza de date privind condițiile edafice și vegetale ale terenurilor agricole din unitățile administrativ-teritoriale Tulucești și Șendreni din județul Galați și Vădeni din județul Brăila, situate în vecinătatea Combinatului Siderurgic Galați.

Pentru evaluarea nivelului de aprovizionare a solului cu nutrienți esențiali s-au efectuat analize privind concentrația macroelementelor primare (azot, fosfor, potasiu), dar s-au investigat și alți parametri ai solului care influențează mobilitatea elementelor nutritive și a celor toxice sau potențial toxic (pH, conținutul de materie organică, CaCO_3 și săruri ușor solubile, precum și mărimile implicate în caracterizarea proprietăților de schimb cationic). Totodată s-au evaluat parametrii fizici și hidrofizici ai solului cu influență asupra circulației elementelor chimice în sol (densitatea aparentă, compoziția granulometriei, porozitatea totală, porozitatea de aeraj, capacitatea de apă în câmp, coeficientul de ofilire, capacitatea totală pentru apă, capacitatea drenantă, capacitatea de apă ușor accesibilă).

Tehnicile spectroscopice (ATR-FTIR, HR-CS AAS, ICP-MS) și nucleare (PIGE, PIXE, RBS) avansate complementare au permis analiza multielementală a eșantioanelor prelevate de pe teritoriile învecinate complexului industrial.

Prin aplicarea metodei spectrometriei de absorbție atomică (AAS), în flacără și cu cuptor de grafit, s-au cuantificat elementele cu rol în procesele biochimice, dar și elementele care prin concentrații care depășesc normele în vigoare pentru solurile situate în zone sensibile (agricole) și plantele de cultură pot genera riscuri asupra sănătății umane (Al, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Ni, Zn, Pb). Rezultatele obținute au evidențiat o acumulare a Cr, Cu și Ni în concentrații care depășesc valoarea normală reglementată în România, ceea ce indică impactul antropogen asupra solurilor agricole. În ceea ce privește conținutul acestor elemente în plantele cultivate se constată interdependența sol-plantă și selectivitatea bioacumulării în funcție de specie și secțiune vegetală.

Analiza efectuată prin tehnica ATR-FTIR a permis identificarea grupărilor funcționale caracteristice mineralelor prezente în probele de sol și de plante. Astfel, prin analiza benzilor de absorbție atribuite vibrațiilor caracteristice grupărilor funcționale prezente în probele de sol s-au identificat mineralele argiloase (montmorillonit și caolinit), și neargiloase (cuart, feldpați, calcit, dolomit și gips) care prin natura lor influențează reținerea și disponibilizare elementelor nutritive, precum și a celor poluante. În același timp, în țesuturile plantelor de cultură au fost identificate grupările funcționale prezente în compușii organici precum celuloza, ligninele, zaharurile, proteinele, amidonul.

Rezultatele obținute prin metoda ATR-FTIR au fost completate de cele obținute prin tehnica SEM-EDX, care permite estimarea compoziției mineralogice și a existenței micro și macroelementelor pe microarii ale probelor de mediu. Metoda SEM a permis analiza micromorfologică și structurală a probelor de sol și de plante. Micrografiile SEM la diferite magnificări au pus în evidență existența mineralelor argiloase și neargiloase, precum și a oxizilor din matricea solului, marcate de prezența grăunților, structurilor aplatizate, cu margini rotunjite și muchii. Imaginile SEM înregistrate pentru plante au oferit informații privind elementele structurale ale țesuturilor analizate, care îndeplinesc funcții fiziologice importante (pereți celulari, membrane celulare), dar și în ceea ce privește compușii organici (lipide, amidon, proteine). Prin urmare informațiile generate de tehnica SEM confirmă rezultatele obținute prin analiza spectrelor ATR-FTIR. Metoda SEM-EDX a permis obținerea unor informații semicantitative privind concentrația elementelor din probele analizate. Prin această metodă s-au identificat, atât în probele de sol, cât și în cele de plante următoarele elemente: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Gd, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Hg. Spectrele EDX și hărțile distribuției elementale au evidențiat prezența mai ales a O și Si în probele de sol, elemente dominante, care formează compuși complecși prin asocierea cu celelalte elemente chimice prezente în matricea solului. În cazul țesuturilor de grâu, porumb și floarea soarelui s-au evidențiat mai ales elementele C și O, prezente în mod obișnuit în matricea organică.

Metodele IBA (PIGE și PIXE) au permis determinarea complementară a elementelor chimice prezente în solurile agricole și secțiunile de plante analizate. Analiza PIXE a fost aplicată în două moduri, iradierea eşantioanelor în vid și cu fascicul extern ceea ce a permis identificarea atât a elementelor cu $Z > 20$ (Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn), cât și a unor elemente cu $Z < 20$ (Na, Mg, Al, Si, P, S). Această metodă a fost completată de tehnica PIGE prin care s-au determinat mai ales elementele ușoare (F, Al, Na, Mg, Si, Cl, K). De menționat este faptul că, dintre toate metodele analitice avansate utilizate, tehnica PIGE este singura care a detectat elementul F, foarte nociv chiar și în concentrații scăzute.

Prin aplicarea metodei ICP-MS s-au obținut informații privind compoziția izotopică a solurilor și plantelor analizate, astfel încât acest studiu reprezintă prima contribuție științifică la baza de date privind amprenta izotopică a regiunii în care s-au efectuat cercetările. Prin analiza rapoartelor de izotopi s-a stabilit impactul antropogen datorat activității industriale învecinate, dar și prin alte surse de contaminare (emisii din trafic, utilizarea îngrășămintelor și produselor fitosanitare, depozitarea deșeurilor industriale etc.).

Cuantificarea gradului de poluare a solului cu metale grele s-a realizat prin calculul unor indici de poluare simpli și complecși, rezultatele obținute evidențiind îmbogățirea fondului geochimic natural cu elemente antropice. Prin intermediul acestor indici a fost posibilă analiza spațială a nivelului contaminării, atât ca distribuție teritorială, cât și pe strate de sol.

Analiza complexă a nivelului de poluare a solului a fost completată de studiul tendinței de bioacumulare a elementelor toxice sau potențial toxice în țesuturile (frunze și cariopse/achene) de grâu, porumb și floarea soarelui prin intermediul factorului de bioacumulare, lucrarea prezentă contribuind cu primele date referitoare la nivelul translocării metalelor din sol în plantele cultivate pentru regiunea Galați-Brăila.

Contribuții originale și direcții viitoare de cercetare

Contribuții originale

Lucrarea de doctorat **“Cercetări privind impactul activităților industriei siderurgice asupra potențialului edafic și vegetal al solurilor din zonele adiacente”** a presupus analiza complexă a solului în raport cu proprietățile fizice, hidrofizice și chimice ale acestuia, precum și sub aspectul compoziției mineralogice. Pentru prima dată în regiunea Galați-Brăila s-au întreprins cercetări privind analiza mineralogică și microstructurală prin tehnicile ATR-FTIR și SEM-EDX a țesuturilor de grâu, porumb și floarea soarelui cultivate pe teritoriile Șendreni și Tulucești, județul Galați și Vădeni, județul Brăila.

Totodată s-a realizat prima analiză a amprentei izotopice caracteristică solurilor agricole, precum și a plantelor de cultură (grâu, porumb, floarea soarelui), prelevate de pe teritoriile Șendreni și Tulucești, județul Galați și Vădeni, județul Brăila, prin intermediul rapoartelor izotopilor stabili ai elementelor Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, și Zn.

Pentru evaluarea nivelului concentrațiilor de micro, macroelemente și elemente urmă în frunzele, cariopsele și achenele de grâu, porumb și floarea soarelui s-au aplicat metode spectroscopice și nucleare complementare avansate (HR-CS AAS, PIXE, PIGE, RBS).

Aceast studiu reprezintă prima contribuție științifică privind aprecierea capacității de bioacumulare a micro și macroelementelor în țesuturile vegetale ale grâului, porumbului și florii soarelui prin intermediul factorului de bioacumulare în zonele agricole adiacente Combinatului Siderurgic Galați.

Direcții viitoare de cercetare

Principalele direcții de cercetare viitoare se vor concentra pe următoarele aspecte:

- Studiul contaminării solului și plantelor de cultură cu și cu alte categorii de poluanți, care nu au fost incluse în acest studiu (hidrocarburi aromatice și poliaromatice, hidrocarburi din petrol, compuși organici organoclorurați, pesticide etc.);
- Extinderea studiului și pe alte specii de plante destinate consumului uman și animal, cultivate în zona de influență a Combinatului Siderurgic Galați;
- Studiul acumulării elementelor toxice în plantele medicinale prezente în flora spontană a zonei Galați-Brăila;
- Extinderea cercetării și pe alte categorii de folosință agricolă a terenului (pășune, fâneată, vie, livadă);
- Evaluarea calității apei freactice și de suprafață, destinată consumului uman, animal și utilizată în scopul aplicării lucrărilor de irigații;
- Studiul concentrațiilor de metale grele și în alte secțiuni vegetale (rădăcină, tulpină) ale grâului, porumbului și florii soarelui (activitate în desfășurare);
- Aplicarea tehnicilor nucleare de analiză în fascicule de ioni accelerați (PIGE, PIXE, RBS) și pentru studiul altor categorii de probe de mediu;
- Stabilirea gradului de expunere a populației din vecinătatea combinatului siderurgic la poluanți, prin calcularea indicilor de risc cancerigen (activitate în desfășurare);
- Extinderea studiului poluării agroecosistemelor pe întreaga suprafață a județelor Galați și Brăila;
- Continuarea studiului izotopilor stabili ai macro- și microelementelor din sol și din plante, precum și inițierea cercetării amprentei izotopice a surselor de poluare din zona Galați-Brăila;

- Studiul gama-spectrometric al activității radionuclizilor naturali prezenți în sol, plante și apă;
- Realizarea unei baze de date la nivel județean privind contaminarea solului cu elemente toxice;
- Întocmirea unui atlas geochimic pentru județele Galați și Brăila.

ANEXE

Anexa 2.1a Delimitarea adâncimii de prelevare a probelor de sol pe teritoriul Tulucești, jud. Galați: (a) proba I-1a/b, (b) proba I-2a/b, (c) proba I-3a/b, (d) proba I-4a/b, (e) proba I-5a/b, (f) proba I-6a/b, (g) proba I-7a/b, (h) proba I-8a/b, (i) proba I-9a/b, (j) proba I-10a/b, (k) proba I-11a/b, (l) proba I-12a/b (sursa: Moraru S.S.)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

**Anexa 2.1b Delimitarea adâncimii de prelevare a probelor de sol pe teritoriul Șendreni,
jud. Galați: (a) proba II-1a/b, (b) proba II-2a/b, (c) proba II-3a/b, (d) proba II-4a/b, (e)
proba II-5a/b, (f) proba II-6a/b, (g) proba II-7a/b, (h) proba II-8a/b (sursa: Moraru S.S.)**



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Anexa 2.1c Delimitarea adâncimii de prelevare a probelor de sol pe teritoriul Vădeni, jud. Brăila: (a) proba III-1a/b, (b) proba III-2a/b, (c) proba III-3a/b, (d) proba III-4a/b, (e) proba III-5a/b, (f) proba III-6a/b, (g) proba III-7a/b, (h) proba III-8a/b, (i) proba III-9a/b (sursa: Moraru S.S.)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

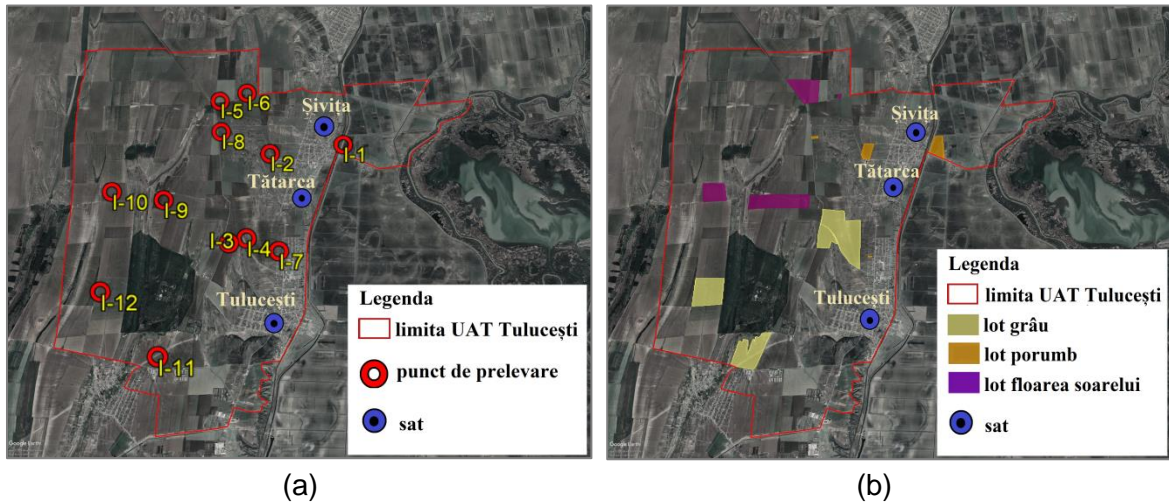


(h)

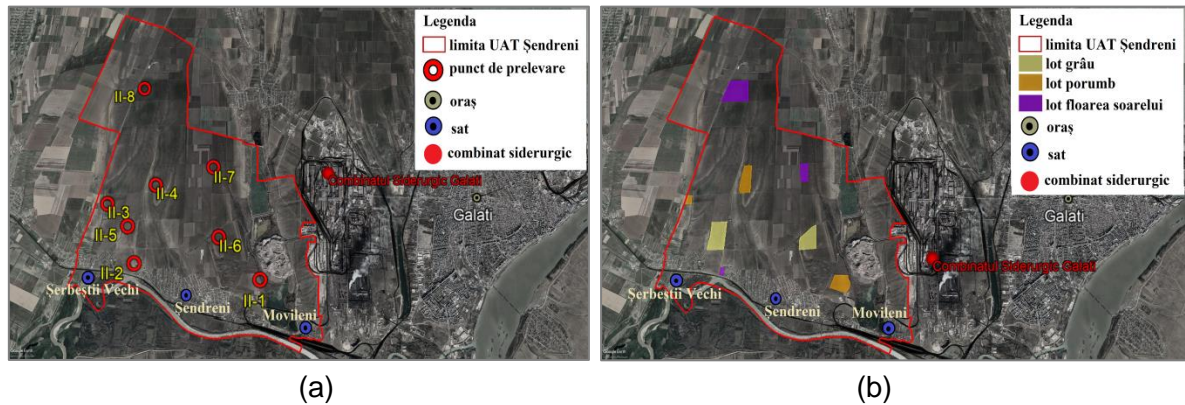


(i)

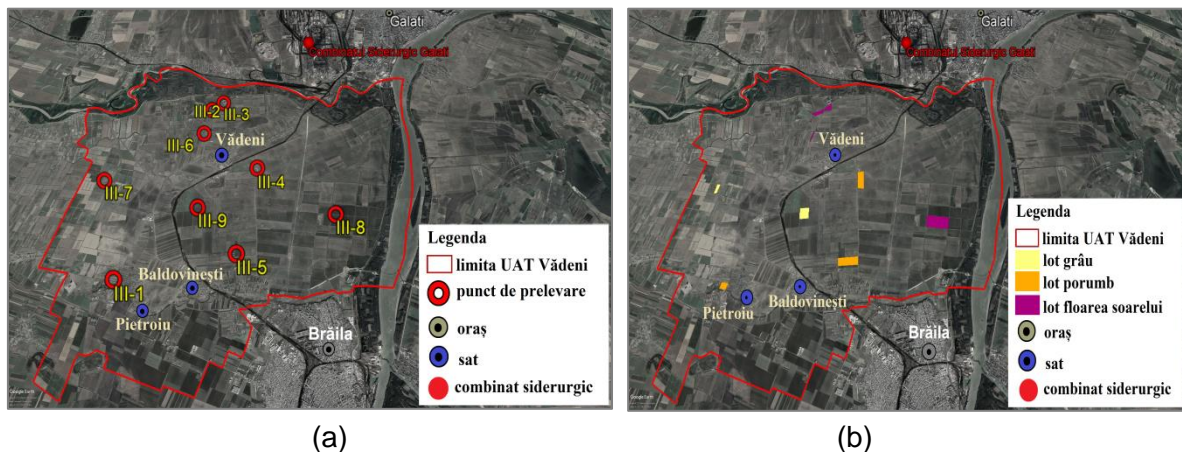
Anexa 2.2a Amplasarea în teren a loturilor de eșantionare pe teritoriul Tulucești, jud. Galați: (a) identificare probe plante, (b) cultura agricolă
(sursa: prelucrare după Google Earth Pro)



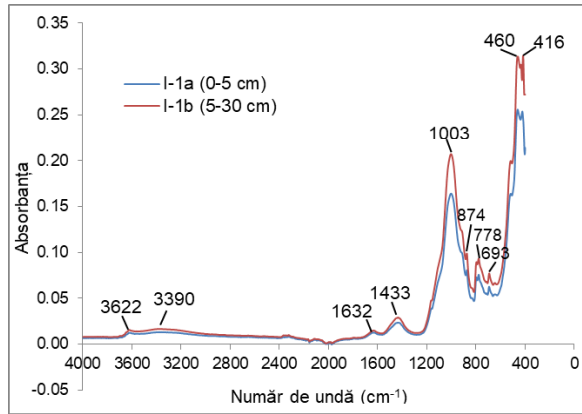
Anexa 2.2b Amplasarea în teren a loturilor de eșantionare pe teritoriul Șendreni, jud. Galați: (a) identificare probe plante, (b) cultura agricolă
(sursa: prelucrare după Google Earth Pro)



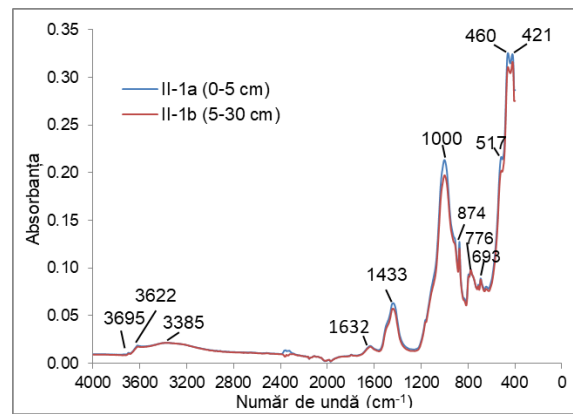
Anexa 2.2c Amplasarea în teren a loturilor de eșantionare pe teritoriul Vădeni, jud. Brăila: (a) identificare probe plante, (b) cultura agricolă
(sursa: prelucrare după Google Earth Pro)



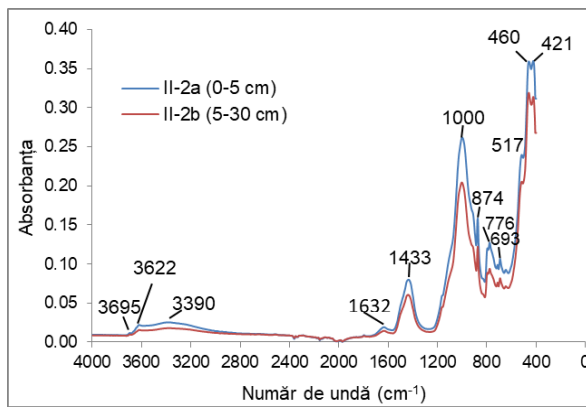
Anexa 6.1 Spectrele ATR-FT-IR caracteristice unor probe de sol prelevate de pe teritoriile: (a) Tulucești (I-1a, I-1b), (b) Șendreni (II-1a, II-1b - b'; II-2a, II-2b - b'') și (c) Vădeni (III-1a, III-1b - c'; III-2a, III-2b - c'', III-3a, III-3b - c''')



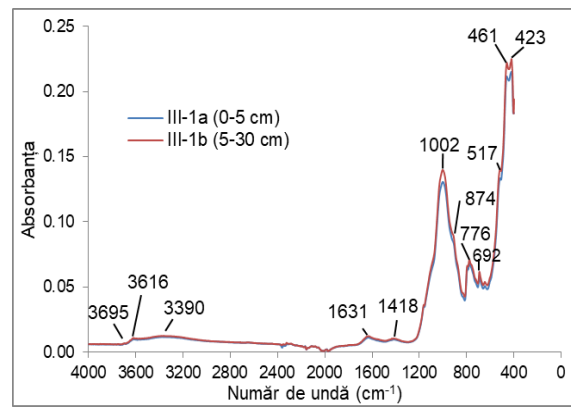
(a)



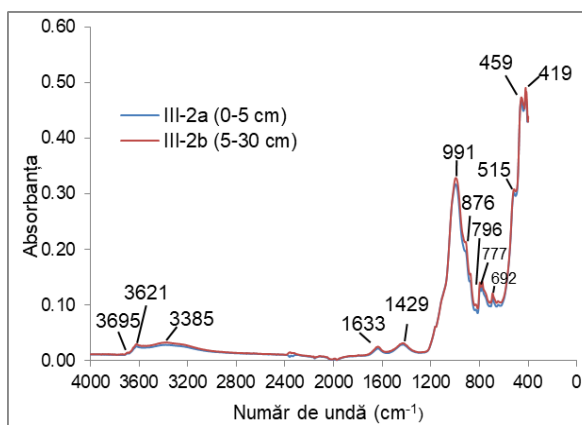
(b)'



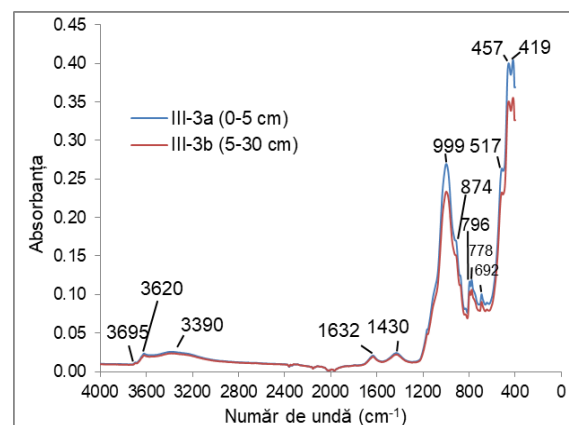
(b)''



(c)'



(c)''



(c)'''

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Al Dabbas, M., Eisa, M.Y., Kadhim, W.H., **Estimation of gypsum-calcite percentages using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), in Alexandria gypsiferous soil, Iraq**, Iraqi Journal of Science, 55, 4B, (2014) 1916-1926. Disponibil la <https://www.iasj.net/iasj/download/d36860e7a0c46f9d> (accesat în data de 13.03.2022)
- Al-Othman, Z.A., Ali, R., Al-Othman, A.M., Ali, J., Habila, M.A., **Assessment of toxic metals in wheat crops grown on selected soils, irrigated by different water sources**, Arabian Journal of Chemistry, 9, (2016) S1555-S1562. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.006>
- Ali, H., Khan, E., Ilahi, I., **Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation**, Hindawi Journal of Chemistry, Article ID 6730305, (2019) 1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Ali, W.A., Hussein, R.H., Radeif, W.T., **The effect of Soil properties on the Biological Diversity of Fungi in Soil University of Anbar**, Journal of Physics: Conference Series, 2114 (2021) 012068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2114/1/012068>
- Antolin, G., Tinant, F.V., Briceno, Y., Castano, V., Pérez, C., Ramírez, A.I., **Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification**, Bioresource Technology, 83, 2, (2002) 111-114. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00200-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00200-0)
- Apostol, L., **Meteorologie și climatologie**. Curs, Editura Universității Suceava, Suceava, 2000, ISBN 973-9408-80-X.
- Arbaș (Moraru), S.-S., Simionică, A., Ene, A., Agricultural Potential of Chernozems Near the Iron And Steel Integrated Works of Galați, in the Perimeter of the Territorial Administrative Unit of Sendreni, Galați County**, 6th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG-Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018, prezentare orală, p. 11 din Program, p. 51 din Book of Abstracts (2018a). http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2018/abstracts-2018>
- Arbaș (Moraru), S.-S., Simionică, A., Ene, A., Agricultural potential of chernozems near the iron and steel integrated works of Galați in the perimeter of the territorial administrative unit of Sendreni, Galați county**, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR X (XLI), No. 1, p. 5-9 (2018b), Galați University Press, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2018.1.01>
- Arbaș (Moraru), S.S., Ene, A., Investigation of Hydro-Physical Characteristics of Agricultural Soils in Galați Region, Romania**, UGAL International Conference Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society, Galați, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, ACADEMIC project, CNFIS - FDI - 2018 - 0054, Session: Progress in Science, Engineering, and Management of Agriculture and Food Bio-resources, 26-27 octombrie 2018, Galați, România, poster (2018c). <http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>
- Arbaș (Moraru), S.-S., Ene, A., Simionică, A., Pedological Study of Pasture Soils in the Southern Part of Galați County for Ecological Reconstruction**, 6th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018, poster, p. 27 din Program, p. 171 din Book of Abstracts (2018d). <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2018/abstracts-2018>
http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf
- Arbaș (Moraru), S.S., Ene, A., Studiul potențialului agricol al solurilor de tip cernoziom în zona Șendreni, județul Galați**, UDJG, Facultatea de Științe și Mediu, Sesiunea Științifică Studentească în Domeniul Matematică, Informatică și Științele Naturii, 17-30 mai 2018, Galați, (2018f).

- Arbanas (Moraru), S.S., Ene, A., Gosav, S.,** *Investigarea compoziției mineralogice a solurilor agricole din aria de influență a Combinatului Siderurgic Galați prin Spectroscopie ATR-FTIR*, Conferință științifică cu participarea elevilor "Fizica medicală: simbioză între Fizică, Medicină și Mediu", Galați, Secțiunea 2: Mediul înconjurător: teorie, instrumente, aplicații, 28 februarie 2019, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Facultatea de Științe și Mediu, prezentare orală, p. 3 din Program și p. 43 din Rezumatele conferinței, (2019a).
https://www.ugal.ro/files/stiri%20si%20evenimente/program_conferinta_Fizica_medicala_2019.pdf
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Gosav, S.,** *Mineralogical Composition Assessment of Soils from Covurlui and Braila Plains by ATR-FTIR Technique*, Simpozionul Internațional "Prioritățile chimiei pentru o dezvoltare durabilă", PRIOCHEM XV, Section 4: Students section, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Chimie și Petrochimie, București, 30 octombrie-1 noiembrie 2019, București, România, poster, p. 242 din Abstract Book (2019b). <https://icechim.ro/wp-content/uploads/summary2019-proceedings.pdf>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Gosav, S., Moraru, D.I.,** *Intensive Agricultural Practices and Industrial Activities Influence on Soil Fertility of Agroecosystems from Prut and Siret Lowlands, SE Romania*, MONITOX International Symposium Deltas and Wetlands, Tulcea, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați și Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare "Delta Dunării" Tulcea, Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020, code BSB165, Section 3 - Environmental Technologies, Restoration and Management of Aquatic Ecosystems, 15-17 septembrie 2019, Tulcea, România, poster, p. 7 din Program, p. 80 din Book of Abstracts (2019c).
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/MONITOX_Symposium_Program_and_Abstracts.pdf
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/abstract_book_symposium.pdf
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Gosav, S., Moraru, D.I.,** *Soil Properties Assessment in the Frame of Heavy Metals Contamination Due to Industrial Activities in Galati Area, Romania*, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, prezentare orală, p. 12 din Program, p. 64 din Book of Abstracts (2019d).
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/programme-2019>
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Moraru, D.I.,** *Contamination level of Triticum vulgare L. cultivated on soils around a metallurgical area in Galati, Romania*, Annals of „Dunarea de Jos” University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XI (XLII), No. 1, p. 1-9 (2019e), Galați University Press, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2019.1.01>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Moraru, D.I.,** *Contamination Level of Triticum Vulgare L. Cultivated on Soils around a Metallurgical Area in Galati, Romania*, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, poster, p. 31 din Program, p. 213 din Book of Abstracts (2019f). <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/programme-2019>
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A.,** *Nutrient stocks study in agroecosystems located near the steel industry, Galati, Romania*, 8th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 18-19 iunie 2020, prezentare orală OP.2.8, p. 10 din Program, p. 73 din Book of Abstracts (2020a). <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-2020>
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-20201>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A.,** *Nutrient stocks study in agroecosystems located near the steel industry, Galati, Romania*, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Mathematics, Physics,

- Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XII (XLIII), No. 2, (2020b) 82-93, Galati University Press, ISSN 2067-2071. <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/math/article/view/4045>
- Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Agricultural potential of soils in Sendreni and Tulucesti areas, Galati county**, 9th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG- Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 10-11 iunie 2021, poster PP.2.3, p. 32 din Program, p. 233 din Book of Abstracts (2021). <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-21>, <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-2022>
- Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Singh, S., Ahmad, P., Mishra, R.K., Sharma, S., Tripathi, D.K., Dubey, Chauhan, D.K., **Influence of high and low levels of plant-beneficial heavy metal ions on plant growth and development**, Frontiers in Environmental Science, 4, 69, (2016) 1-11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00069>
- Ayoub, A.S., McGaw, B.A., Shand, C.A., Midwood, A.J., **Phytoavailability of Cd and Zn in soil estimated by stable isotope exchange and chemical extraction**, Plant and Soil, 252, (2003) 291-300. <https://doi.org/10.1023/A:1024785201942>
- Baieta, R., Vieira, A.M.D., Vaňková, M., Mihaljevič, M., **Effects of forest fires on soil lead elemental contents and isotopic ratios**, Geoderma, 414, (2022) 115760. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115760>
- Băcăuanu, V., Nicolae, B., Pantazică, M., Ungureanu, Al., Chiriac, D., **Podișul Moldovei. Natură, om economie**, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1980.
- Băjescu, I., Chiriac, A., **Distribuția microelementelor în solurile din România. Implicații în agricultură**, Editura Ceres, București, 1984.
- Blum, W.E.H., **Functions of Soil for Society and the Environment**, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 4, 75, (2005) 75-79. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>
- Borlan, Z., Răuță, C. (redactori coord.), **Metodologie de analiză agrochimică a solurilor în vederea stabilirii necesarului de amendamente și de îngrășăminte**, Metode de analiză chimică a solurilor, vol. I, partea I, București, 1981.
- Bulgariu, D., Scarlat, A. A., Bulgariu, L., Aștefanei, D., Ciobanu, Ș. C., **Capitolul VIII. Considerații privind analiza carbonaților din soluri**, în *Studii și cercetări în geostiințe*, Rusu, C., Bulgariu, D. (coord.), Editura Universității "Al. I. Cuza" Iași, vol. 2, 2018, ISBN vol. II 978-606-714-478-9.
- Cabrera, F., Clemente, L., Barrientos, D.E., Lopez, R., Murillo, J.M., **Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar toxic flood**, The Science of the Total Environment, 242, 1-3, (1999) 117-129. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00379-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00379-4)
- Chen, Z., Ding, Y., Jiang, X., Duan, H., Ruan, X., Li, Z., Li, Y., **Combination of UNMIX, PMF model and Pb-ZN-Cu isotopic compositions for qualitative source apportionment of heavy metals in suburban agricultural soils**, Ecotoxicology and Environmental Safety, 234, (2022) 113369. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113369>
- Coldea, G., Negrean, G., Sârbu, I., Sârbu, A., **Ghid pentru identificarea și inventarierea pajiștilor seminaturale din România**, Editura alo, București!, București, 2001.
- Coteț, P.V., **Câmpia Română. Studiu de geomorfologie integrată**, Editura CERES, București, 1976.
- Danielovič I., Hecl, J., Danilovič, M., **Soil Contamination by PCBs on a Regional Scale: the Case of Strážske, Slovakia**, Polish Journal of Environmental Studies, 23, 5, (2014) 1547-1554.
- Davidescu, D., Davidescu, V., **Agrochimia modernă**, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1981.
- Demir, P., Onde, S., Severcan, F., **Phylogeny f cultivated and wild wheat species using ATR-FTIR spectroscopy**, Spectrochimica Acta, part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 135, (2015) 757-763. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.07.025>
- Dumitru, M., Manea, A. (coord.), **Metode de analiză chimică și microbiologică (utilizate în sistemul de monitorizare a solurilor)**, Editura Sitech, Craiova, 2011, ISBN 978-606-1-2046-8.

- Dumitru, E., Calciu, I., Carabulea, V., Canarache, A., **Metode de analiză utilizate în laboratorul de fizică a solului**. Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Pedologie, Agrochimie și Protecția Mediului - ICPA - București, Editura Sitech, Craiova, 2009, ISBN 978-606-530-752-0
- Dumitru, M., Dumitru, S., Tanase, V., Mocanu, V., Manea, A., Vrânceanu, N., Preda, M., Eftene, M., Ciobanu, C., Calciu, I., Râșnoveanu, I. **Monitoringul stării de calitate a solurilor din România**, Editura Sitech, Craiova, 2011. <https://www.icpa.ro/proiecte/Proiecte%20nationale/monitoring/atlasICPA.pdf>
- Ene, A., Pantelică, A., **Tehnici analitice atomice și nucleare utilizate în monitorizarea mediului**, Editura Galati University Press, Galați, 2011, ISBN 978-606-8348-17-9.
- Ene, A., Alina (Bosneaga) Sion, Georgescu, L.P., Boghevich, O., **Monitoring techniques for inorganic and organic pollutants in soils around an integrated iron and steel plant**, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Metallurgy and Materials Science, FASCICLE IX, No. 4 (2011a) 21-24, ISSN 1453-083X.
- Ene, A., Stih, C., Pantelică, A., Frontasyeva, M.V., **Moraru, S.-S., Nuclear and Related Techniques Used for the Investigation of Soil Pollution and Metal Transfer in Plants in Industrial Areas**, 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, Section 3: Nuclear and sub-Nuclear Physics and Applications, Constanța, 10-13 iulie 2018, Universitatea "Ovidius" din Constanța, poster, p. 120 din Book of Abstracts (2018).
<http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP-2018-BOOK-of-ABSTRACTS.pdf>
- Ene, A., Pantelică, A., **Arbanas (Moraru), S.-S.**, Pintilie, V., Sloată, F., Căpriță, F.C., Straticiuc, M., Mirea, D., Șerban, A., Stih, C., Frontasyeva, M., Bogdevich, O., Culighin, E., **Development of analysis methodology using proton induced X-ray Emission (PIXE) as a complementary technique to determine trace elements in environmental matrices**, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XI (XLII), No. 2 (2019a) 117-125, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2019.2.01>
- Ene, A., Pantelică, A., **Arbanas (Moraru), S.-S.**, Pintilie, V., Sloată, F., Căpriță, F.C., Straticiuc, M., Mirea, D., Șerban, A., Stih, C., Frontasyeva, M., Bogdevich, O., Culighin, E., **Development of analysis methodology using Proton Induced X-ray Emission (PIXE) as a complementary technique to determine trace elements in environmental matrices**, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, poster, p. 31 din Program, p. 215 din Book of Abstracts, (2019b). <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>
- Ene A., Stih C., Frontasyeva M., **Moraru S.S.**, Pantelica A., **Nuclear and Atomic Techniques Used for Heavy Metal Pollution Investigations in Agroecosystems**, 32nd Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation, Târgoviște, Session: Moss survey, 18-21 februarie 2019, Universitatea "Valahia" din Târgoviște, România, poster, p. 8 și 75 din Programme & Abstracts (2019c).
https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/Book_of_Abstract_TFM_2019_final.pdf
- Ene, A., Bogdevich, O., Zubcov, E., Denga, Y., Spanos, T., Pantelică, A., Frontasyeva, F., Stih, C., Teodorof, L., Burada, A., Despina, C., Moraru, D.I., Culighin, E., Sion, A., Bașliu, V., Cioromila, A., **Moraru, S.S.**, Sloată, F., **Nuclear and Atomic Techniques Used for the Quantification and Mapping of Heavy Metals and Trace Elements in Soils**, MONITOX International Symposium Deltas and Wetlands, 15-17 septembrie 2019, Tulcea, Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020, code BSB165, Section 1 - Monitoring of Toxicants in Rivers - Deltas - Seas Ecosystems in the Black Sea Basin, poster, p. 4 din Program, p. 24 din Book of Abstracts (2019d).
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/MONITOX_Symposium_Program_and_Abstracts.pdf
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/abstract_book_symposium.pdf
- Ene, A., **Moraru, S.-S.**, Moraru, D.I., **Assessment of bioaccumulation of heavy metals in sunflower cultivated in the agricultural area next to steel industry**, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science-SGEM Geoconference 2019, Conference Proceedings, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, vol. 19, issue 3.2-Soils, Water Ecosystems, p. 25-32, Albena, Bulgaria, 30 June-06 July 2019,

- (2019e) ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7408-82-9. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.004>
- Ene, A., **Moraru, S.-S.**, Moraru, D.I., **Assessment of bioaccumulation of heavy metals in sunflower cultivated in the agricultural area next to steel industry**, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Albena, Bulgaria, Section: Soils, 28 iunie-07 iulie 2019, poster, p. 47 din Plenary Programme (2019f).
- Ene, A., **Arbanas (Moraru), S.-S.**, Gosav, S., Sloata, F., Aflori, M., Basliu, V., Cantaragiu, A., **Assessment of mineralogical composition of cultivated soils impacted by iron and steel industry using combined advanced techniques**, 8th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 18-19 iunie 2020, prezentare orală, (2020b) p. 10 din Program, p. 74 din Book of Abstracts. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-2020>
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-20201>
- Erenstein, O., Chamberlin, J., Sonder, K., **Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms**, Global Food Security, 30, 100558, (2021) 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100558>
- FAO/WHO, **Codex Alimentarius - General standard for contaminants and toxins in food and feed**, CXS 193-1995, (1995). Disponibil la https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193e.pdf (accesat în data de 10.02.2022)
- Florea, N., Bălăceanu, V., Răuță, C., Canarache, A. (redactori coord.), **Metodologia elaborării studiilor pedologice, Partea a III-a - Indicatorii ecopedologici**, Redacția de Propagandă Tehnică Agricolă, București, 1987a.
- Florea, N., Bălăceanu, V., Răuță, C., Canarache, A. (redactori coord.), **Metodologia elaborării studiilor pedologice, Partea a II-a - Elaborarea studiilor pedologice în diferite scopuri**, Redacția de Propagandă Tehnică Agricolă, București, 1987b.
- Florea, N., Bălăceanu, V., Răuță, C., Canarache, A. (redactori coord.), **Metodologia elaborării studiilor pedologice, Partea I - Colectarea și sistematizarea datelor pedologice**, Redacția de Propagandă Tehnică Agricolă, București, 1987c.
- Florea, N., Munteanu, I., **Sistemul Român de Taxonomie a Solului (SRTS)**, Editura Estfalia, București, 2003, ISBN 973-85841-7-5.
- Florea, N., Munteanu, I. (coordonatori), **Sistemul Român de Taxonomie a Solurilor (SRTS)**, Editura Sitech, Craiova, 2012, ISBN 978-606-11-2090-1 .
- Florea, N., Untaru, G., Vespremeanu, R., **Microzonarea pedogeoclimatică actualizată a teritoriului României**, Știința solului, vol. XXXIII, nr. 1, Editura Helicon, Timișoara, 1999.
- Gao, T., Liu, Y., Xia, Y., Zhu, J.-M., Wang, Z., Qi, M., Liu, Y., Ning, Z., Wu, Q., Xu, W., Liu, C., **Cadmium isotope compositions of Fe-Mn nodules and surrounding soils: Implications for tracing Cd sources**, Fundamental Research, 1, (2021) 269-276. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.04.002>
- Goldhaber, S.B., **Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity**, Regulatory Toxicology and Pharmacology, 38, 2, (2003) 232-242. [https://doi.org/10.1016/S0273-2300\(02\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0273-2300(02)00020-X)
- Gong, Q., Deng, J., Yunchuan, X., Qingfei, W., **Calculatin Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing**, Journal of China University of Geosciences, 19, 3, (2008) 230-241. [https://doi.org/10.1016/S1002-0705\(08\)60042-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0705(08)60042-4)
- Gorgulu, S.T., Dogan, M., Severcan, F., **The characterization and differentiation of higher plants by Fourier Transform Infrared Spectroscopy**, Applied Spectroscopy, 61, 3, (2007) 300-308. <http://dx.doi.org/10.1366/000370207780220903>
- Håkanson, L., **An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach**, Water Research, 14, (1980) 975-1101. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Heneen, W.K., Brismar, K., **Scanning electron microscopy of nature grains of rye, wheat and triticale with emphasis on grain shrivelling**, Hereditas, 107, (1987) 147-162.

- Huang, Y., Long, Z., Zhou, D., Wang, L., He, P., Zhang, G., Hughes, S.S., Yu, H., Huang, F., **Fingerprinting vanadium in soils based on speciation characteristics and isotope compositions**, Science of the Total Environment, 791, (2021) 148240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148240>
- Ion, V., **Fitotehnie**, 2010. Disponibil la <https://www.horticultura-bucuresti.ro/images/pdf/Fitotehnie.pdf> (accesat în data de 13.02.2022)
- Kabata-Pendias, A., **Trace elements in soils and plants**, 4th edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011, ISBN 978-1-4200-9368-1.
- Kacholi, D.S., Sahu, M., **Levels and health risk assessment of heavy metals in soil, water, and vegetables of Dar es Salaam, Tanzania**, Hndawi Journal of Chemistry, article ID 1402674, (2018) 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/1402674>
- Kalavrouziotis, I.K., Koukoulakis, P.H., Ntzala, G., Papadopolus, A.H., **Proposed Indices for Assessing Soil pollution Under the Application of Sludge, Water Air Soil Pollution**, 223, 8, (2012) 5189-5196. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1270-x>
- Kalra, Y.P. (editor), **Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Tissue Tests. Let plant speak.**, CRC Press. Taylor and Francis Group, 1998.
- Khan, A., Khan, S., Khan Amjad, M., Qamar, Z., Waqas, M., **The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review**, Environmental Science and Pollution Research, 22 (2015), 18, 13772-13799. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0>
- Khan, S., Choudhary, S., Oandey, A., Khan, M.K., Thomas, G., **Sunflower oil: Efficient oil source for humain consumption**, Emergent Life Sciences Research, E-ISSN: 2395-6658, 1, 1, (2015) 1-3.
- Köppen, W., Geiger, R., **Handbuch der Klimatologie in fünf Bänden - Das geographische System der Klimate**, Band I, Teil C, Verlag von Gebrüder Borntraeger, W 35, Koester ufer 17, Berlin, 1936.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15 (3) (2006) 259-263, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kraillertrattanachai, N., Ketrot, D., Wisawapipat, W., **The distribution of trace metals in roadside agricultural soils, Thailand**, MDPI, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 5, 714, (2019) 1-12. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph16050714>
- Kumar, A., Kumar, A., M. M.S., C.P., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A.A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D.K., Malyan, S.K., Kumar, S.S., Khan, A.S., Yadav, K. K., **Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches**. International journal of environmental research and public health, 17 (2020), 7, 2179. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072179>
- Moraru, S.**, Moraru, I., Popescu, A., Contoman, M., **Pedological Study Regarding the Ecological Reconstruction of Pastures Soils from the Lower Chineja Basin, Galați County**, Simpozionul de Agricultură și Industrie Alimentară, Iași, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară "Ion Ionescu de la Brad" din Iași, Facultatea de Agricultură, 19-20 octombrie 2017, First Section: Water and Soil, poster, p. 11 din Program (2017a). <http://www.uaiasi.ro/simpozion/simpozion2017/fisiere/Program--2017.pdf>
- Moraru, S.**, Moraru, I., Popescu, A., Contoman, M., **Pedological study regarding the ecological reconstruction of pastures soils from the lower Chineja basin, Galați county**, Lucrări științifice - seria Agronomie, vol. 60, nr.2, p. 292-295, ISSN (print) 1454-7414, ISSN (electronic) 2069-6727, Editura "Ion Ionescu de la Brad", Iași, (2017b). <http://www.uaiasi.ro/revagrois/PDF/2017-2/paper/59.pdf>
- Moraru, S.-S.**, Ene, A., Gosav, S., **Study of the correlativity between parameters and mineralogy of contaminated agricultural soils**, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Conference Proceedings, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 19 (3.2)-Soils, Water Ecosystems (2019a), 441-448, Albena, Bulgaria, 30 June-06 July 2019, ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7408-82-9. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.058>

- Moraru, S.S.**, Simionică, A., Simionică, R.L., Manea, M.E., **Reconstrucția ecologică a solurilor aferente pășunilor din bazinul Chinejii, în segmentul Frumușița-Foltești, județul Galați**, Pedopeisaje naturale și antropizate din estul României. Ghidul celei de-a XXIX-a ediții a simpozionului "Factori și procese pedogenetice din zona temperată", coord. Rusu C., Bulgariu D., Vasiliu I., Editura Universității "Al. I. Cuza" din Iași, (2019b) p. 190-212, ISBN 978-606-714-549-6, ISSN 1582-4616.
- Moraru, S.S.**, Ene A., Gosav S., Moraru D.I., Sloata F., **Relation Between Land Use, Industrial Activity and Metal Accumulation in Plants**, 32nd Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation, Târgoviște, Session: Moss survey, 18-21 februarie 2019, Universitatea "Valahia" din Târgoviște, România, poster, p. 8 și 81 din Programme & Abstracts (2019c).
https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/Book_of_Abstract_TFM_2019_final.pdf
- Moraru, S.-S.**, Ene, A., Gosav, S., **Study of the correlativity between parameters and mineralogy of contaminated agricultural soils**, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Albena, Bulgaria, Section: Soils, 28 iunie-07 iulie 2019, poster, p. 47 din Plenary Programme (2019d).
- Moraru, S.-S.**, Ene, A., Gosav, S., **Mineralogical composition assesment of soils from Covurlui and Braila Plains by ATR-FTIR Technique**, Proceedings, 29 (1), no. article 80 (2019e), on-line ISSN 2504-3900. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019029080>
- Moraru, S.-S.**, Ene, A., **Nitrogen, phosphorus and potassium investigation in topsoil layers from temperate agroecosystems, SE Romania**, International Conference „Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health”, Galați, Romania, Section 3: Environmental technologies, remediation and management of riverine, deltaic and coastal ecosystems, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați și Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare "Delta Dunării" Tulcea, 23-26 septembrie 2020, poster, p. 3 din Conference program, p. 38 din Abstract Book (2020).
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/PROGRAM_CONFERENCE_GALATI_23_26_09_2020.pdf
https://www.monitox.ugal.ro/images/events/Abstract_Book_Galati_Conference_23_26_September_2020.pdf
- Moraru, S.-S.**, Ene, A., Badila, A., **Physical and hydro-physical characteristics of soil in the context of climate change. A case study in Danube River basin, SE Romania**, Sustainability, vol. 12, no. 21, no. articol 9174, (2020) 1-26, on-line ISSN 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su12219174>
- Mroczkowska-Szerszeń, M., Orzechowski, M., **Infrared spectroscopy methods in reservoir rocks analysis - semiquantitative approach for carbonate rocks**, Nafta-Gaz, ROK LXXIV, 11, (2018) 802-8012. <http://dx.doi.org/10.18668/NG.2018.11.04>
- Müller, G., **Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River**, GeoJournal, 2, (1969)108-118.
- Müller, C. M., Pejčić, B., Esteban, L.I., Delle Piane, C., Raven, M., Mizikoff, B., **Infrared Attenuated Total Reflectance Spectroscopy: An Innovative Strategy for Analyzing Mineral Components in Energy Relevant Systems**, Scientific Reports, 4, 6764, (2014) 1-11.
- Nikolaidis, C., Zafiriadis, I., Constantinidis, T., **Heavy Metal Pollution Associated with an Abandoned Lead-Zinc Mine in the Kirki Region, NE Greece**, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 85, (2010) 307-312. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0079-9>
- Nriagu, J., **Zinc toxicity in humans**, Chapter in *Encyclopedia of Environmental Health*, (2011), 801-807. <https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00675-9>
- Oliver, I.W., Ma, Y., Lombi, E., Nolan, A.L., McLaughlin, M.J., **Stable isotope techniques for assessing labile Cu in soils: development of an L-value procedure, its application, and reconciliation with E values**, Environmental Science and Technology, 40, 10, (2006) 3342-3348. <http://dx.doi.org/10.1021/es051845j>
- Olowoyo, J.O., van Heerden, E., Fischer, J.L., Baker, C., **Trace elements in soil and leaves of Jacaranda mimosifolia in Tshwane area, South Africa**, Atmospheric Environment, 44, (2010) 1826-1830. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01048>
- Ordin nr. 756 din 3 noiembrie 1997** pentru aprobarea Reglementării privind evaluarea poluării mediului, Monitorul Oficial nr. 303 (BIS) din 06 noiembrie 1997.
<https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/13572>

- Ordin nr. 184 din 21 septembrie 1997** pentru aprobarea Procedurii de realizare a bilanșurilor de mediu, Monitorul Oficial nr. 303 bis din 6 noiembrie 1997. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocument/11971>
- Ordin nr. 975 din 16 decembrie 1998** privind aprobarea Normelor igienico-sanitare pentru alimente, Monitorul Oficial, Partea I, nr. 268 din 11 iunie 1999. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/18423>
- Orisakwe, O.E., Nduka, J.K., Amadi, C.N., Dike, D.O., Bede, O., **Heavy metals risk assessment for population via consumption of food crops and fruits in Owerri, South Eastern, Nigeria**, Chemistry Central Journal, 6, 77, (2012) 1-7. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-77>
- OSPA Brăila, **Studiu pedologic și agrochimic în vederea realizării și reactualizării sistemului județean sol-teren pentru agricultură, teritoriul Vădeni, județul Brăila**, autori Guță, L.G., Mocanu, L.L., 2018.
- OSPA Galați, **Studiu pedologic și agrochimic în vederea realizării și reactualizării sistemului județean sol-teren pentru agricultură, teritoriul Șendreni, județul Galați**, autori Moraru, S.S., Simionică R.L., Manea M.E., Botină, M., 2014.
- OSPA Galați, **Studiu pedologic și agrochimic în vederea realizării și reactualizării sistemului județean sol-teren pentru agricultură, teritoriul Tulucești, județul Galați**, autori Moraru, S.S., Simionică, R.L., Anton, C.G., 2020.
- Palacio, S., Aitkenhead, M., Escudero, A., Montserrat-M., G., Maestro, M., Robertson, A.H.J., **Gypsophile chemistry unveiled: Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy provides new insight into plant adaptations to gypsum soils**, PLoS ONE, 9, 9, e107285, (2014) 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107285>
- Popescu, I.V., Frontasyeva, M., Stih, C., Ene, A., Cucu-Man, S., Todoran, R., Culicov, O., Zinicovscaia, I., Tinh, M., Pavlov, S.S., Radulescu, C., Chilian, A., Gheboianu, A., Bancuta, R., Cimpoa, G., Bancuta, I., Dulama, I.D., Toma, L.G., Bucurica, A., Dima, G., Drasovean, R., Sion, A., Condurache-Bota, S., Buhaceanu, R., Turcau, D., Todoran, D., **Atomic and nuclear methods applied in the study of heavy metal pollution**, Annals of the Academy of Romanian Scientists, Physics Series, 4, 1, (2014), ISSN 2066-8562.
- Rabinowitz, B.M, Wetherill, G.W., **Identifying Sources of Lead Contamination by Stable Isotope Techniques**, Current Research, 6, 8, (1972) 705-709. <https://doi.org/10.1021/es60067a003>
- Rădulescu, C., Stih, C., Popescu, I.V., Dulama, I.D., Chelarescu, E.D., Chilian, A., **Heavy metal accumulation and translocation in different parts of Brassica oleracea L.**, Romanian Journal of Physics, 58. no. 9-10 (2013) 1337-1354.
- Răuță, C., Cârstea, St., Grou, E., **Partea a II-a. Poluarea solului, în Instrucțiuni privind executarea studiilor agrochimice**, vol. I, Borlan, Z., Răuță, C., Hera, Cr. (redactori coord.), Ministerul Agriculturii și Industriei Alimentare, Academia de Științe Agricole și Silvicultură, Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie, Nr. 14 - Metode, rapoarte, îndrumări, București 1981.
- Reimann, C., de Caritat, P., **Distinguishing between Natural and Anthropogenic Sources for Elements in the Environment: Regional Geochemical Surveys versus Enrichment Factor**, The Science of the Total Environment, 337, (2005) 91-107. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.06.011>
- Reimann, C., Flem, B., Fabian, K., Burka, M., Ladenberger, A., Négrel, P., Demetriades, A., Hoogewerff, J., The GEMAS Project Team, **Lead and lead isotopes in agricultural soils of Europe – The continental perspective**, Applied Geochemistry, 27, (2012) 532-542. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.12.012>
- Rodelo-Torrente, S., Torregroza-Espinosa, A.C., Moreno Pallares, M., Pinto Osorio, D., Corrales Paternina, A., Echeberria-González, A., **Soil fertility in agricultural production units of tropical areas**, Global Journal of Environmental Science and Management, 8, 3, (2022) 1-16.
- Rusu, M., Mărghitaș, M., Oroian, I., Mihăiescu, T., Dumitraș, A., **Tratat de agrochimie**, Editura Ceres, București, 2005, ISBN 973-40-0727-0.

- Salminen, R. (ed.), Demetriades, A., Reeder, S., **Geochemical Atlas of Europe, Part I - Background Information, Methodology and Maps**, Espoo, Geological Survey of Finland, 2005.
<http://www.gtk.fi/publ/foreqsatlas>
- Scheuer, P.M., de Francisco, A., de Miranda, M.Z., Oglari, P.J., Torres, G., Limberger, V., Montenegro, F.M., Ruffi, C.R., Biondi, S., **Characterization of Brazilian wheat cultivars for specific technological applications**, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 31, 3, (2011) 816-826. https://doi.org/10.1590/S0101-2061201100_0300041
- Schmitt, A.-D., Vigier, N., Lemarchand, D., Millot, R., Stille, P., Chabaux, F., **Processes controlling the stable isotope compositions of Li, B, Mg and Ca in plants, soils and waters. A review**, *Comptes Rendus Geoscience*, 344, (2012) 704-722. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2012.10.002>
- Sficlea, V., **Podișul Covurluiului**, capitol în *Masivul Ceahlău, Țara Giurgeului, Depresiunea Dărmănești, Podișul Covurlui - Cercetări în geografia României*, autori Stănescu, I., Văcărașu, I., Swizewski, C., Sficlea, V., Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1980.
- Shorstkii, I.A., Zherlicin, A.G., Li, P., **Impact of pulse electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics on sunflower seed**, *Oil & fats Crops and Lipids*, 26, 47, (2019) 1-7. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019048>
- Sion, A., Gosav, S., Ene, A., **ATR-FTIR qualitative mineralogical analysis of playground soils from Galati city, SE Romania**, *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle II, Year XII (XLIII), 2*, (2020) 141-145. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2020.2.10>
- Smical, A.I., Hotea, V., Oros, V., Juhasz, J., Pop, E., **Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce**, *Environmental Engineering and Management Journal*, 7, 5, (2008) 609-6015. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2008.085>
- SR 7184/13:2001**. Soluri. Determinarea pH-ului în suspensiile apoase și saline (masă/volum) și în pastă de saturație.
- SR ISO 11466:1999**. Calitatea solului. Extracția microelementelor solubile în apă regală.
- SR EN ISO 11272:2014**. Calitatea solului. Determinarea densității aparente a solului uscat.
- SR EN ISO 10693:2014**. Calitatea solului. Determinarea conținutului de carbonați. Metoda volumetrică.
- SR ISO 11265+A1:1998**. Calitatea solului. Determinarea conductivității electrice specifice.
- SR ISO 11465:1998**. Calitatea solului. Determinarea conținutului de substanță uscată și de apă, raportat la masă. Metoda gravimetrică.
- STAS 7184/1-84**. Soluri. Recoltarea probelor pentru studii pedologice și agrochimice.
- STAS 7184/7-87**. Soluri. Determinarea sărurilor minerale din extractul apos 1:5.
- STAS 7184/10-79**. Soluri. Determinarea compoziției granulometrice.
- STAS 7184/21-82**. Soluri. Determinarea conținutului de humus.
- Stoica, E., Răuță, C., Florea, N. (redactori coord.), **Metode de analiză chimică a solului**, Redacția de Propagandă Tehnică Agricolă, București, 1986.
- Tóth, T., Tomáš, J., Lazor, P., Bajčan, D., Jomová, K., **The transfer of heavy metals from contaminated soils into agricultural plants in high Tatras Region**, *Czech Journal of Food Sciences*, 27, soecial issue 1, (2009) S390-S393. <https://doi.org/10.17221/600-CJFS>
- Trap, J., Bonkowski, M., Plassard, C., Villenave, C., Blanchart, E., **Ecological importance of soil bacterivores for ecosystem functions**, *Plant and Soil*, 398, (2016) 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2671-6>
- Tutunea, D., Dumitru, I., Racila, L., Otat, O., Matei, L., Geonea I., **Characterization of Sunflower Oil Biodiesel as Alternative for Diesel Fuel**, In: Burnete, N., Varga, B. (eds) *Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018)*. AMMA2018 2018. *Proceedings in Automotive Engineering*. Springer, Cham, (2018) 172-180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94409-8_21
- Verhoef, H.A., **The role of soil microcosms in the study of ecosystem processes**, *Ecology*, 77, 3, (1996) 685-690.

- Volkov, D.S., Rogova, O.B., Proskurnin, M.A., **Organic matter and mineral composition of silicate soils: FTIR comparison study by photoacoustic, diffuse reflectance, and attenuated total reflection modalities**, MDPI, Agronomy, 11, 9, 1879, (2021) 1-30. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091879>
- Wang, J., Wang, L., Wang, Y., Tsang, D.C.W., Yang, X., Beiyuan, J., Yin, M., Xiao, T., Jiang, Y., Lin, W., Zhou, Y., Liu, J., Wang, L., Zhao, M., **Emerging risks of toxic metal(loid)s in soil-vegetables influenced by steel-making activities and isotopic source apportionment**, Environmental International, 146, (2021) 106207. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106207>
- Wang, L.W., Jin, Y., Weiss, D.J., Schleicher, N.J., Wilcke, W., Wu, L., Guo, Q., Chen, J., O'Conner, D., Hou, D., **Possible application of stable isotope compositions for the identification of metal sources in soil**, Journal of Hazardous Materials, 407, 124812, (2021) 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124812>
- <https://vadeni.ro/> (accesat în data de 21.06..2021)
- https://ro.wikipedia.org/wiki/Comuna_V%C4%83deni,_Br%C4%83ila
(accesat în data de 24.03.2021)
- <https://geoportal.ancpi.ro/portal/home/> (accesat în data de 28.03.2021)
- <https://ptable.com/#Properties/Series> (accesat în data de 17.11.2021)
- <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html> (accesat în data de 05.02.2022)
- <http://www.anpm.ro/web/apm-galati/rapoarte-anuale1> (accesat în data de 17.11.2022)
- <http://apmbr.anpm.ro/rapoarte-anuale1> (accesat în data de 17.11.2022)
- https://www.specac.com/en/resources/infrared-frequency-tool?utm_source=Members&utm_medium=Exclusive-Email&utm_campaign=Specac_April_2022
(accesat în data de 09.04.2022)

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

PUBLICAȚII ÎN REVISTE INDEXATE ISI (WEB OF SCIENCE)

Moraru, S.-S., Ene, A., Badila, A., Physical and hydro-physical characteristics of soil in the context of climate change. A case study in Danube River basin, SE Romania, Sustainability, vol. 12, no. 21, no. articol 9174, p. 1-26 (2020), on-line ISSN 2071-1050. <https://doi.org/10.3390/su12219174> (IF 2020 = 2,576)

Articol premiat de UEFISCDI: Subprogram 1.1 - Resurse Umane - Premiarea rezultatelor cercetării - Articole, Competitia 2020 Rezultate evaluare Lista 5_Partial 1 - Cereri premiere depuse pentru articole publicate in anul 2020_10.12.2020, pag. 3, poziția 11

https://uefiscdi.gov.ro/resource-824909-precisi_lista-5_partial-1_rezultate-eligibilitate_articole-2020_.pdf?&wtok=&wtkps=XU5LboMwEL2L1w31eOJghk1PEEXKCQgmKSVcwCYqJ+Luta1KSbuaN++n11BJT09IzBvNak9SEAPI7FJesH/A4RGW6nKbJ1uNKw4i7N11OoSKL3znXB9Cs3MTCm9TFoiZdGOFhF/wNbO6icozy/b9iV5DCnhVb1ue0GqfKlkyIzXEtB6/T+dPLLIQqNgcmmMvpgPASARAAHzBJITx38Z4MT+Gu00tUsAI7KDvvdMbhbcce+uxrfaFlvp1qJxs2mHntXbDw==&wchk=7cfd460100807e655af1a3ccbcd39066e7787492

Articol premiat de IOSUD-Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială - Premiul II la concursul pentru Premiarea rezultatelor cercetării studenților doctoranzi din cadrul IOSUD-UDJG pentru anul 2020.

<https://www.ugal.ro/anunturi/stiri-si-evenimente/8428-premii-consistente-pentru-doctoranzii-care-au-rezultate-deosebite>

PUBLICAȚII ÎN JURNALE INTERNAȚIONALE INDEXATE (BDI)

SCOPUS

Ene, A., **Moraru, S.-S.**, Moraru, D.I., Assessment of bioaccumulation of heavy metals in sunflower cultivated in the agricultural area next to steel industry, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Conference Proceedings, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, vol. 19, issue 3.2-Soils, Water Ecosystems, p. 25-32, Albena, Bulgaria, 30 June-06 July 2019, ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7408-82-9. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.004>

Moraru, S.-S., Ene, A., Gosav, S., Study of the correlativity between parameters and mineralogy of contaminated agricultural soils, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Conference Proceedings, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, vol. 19, issue 3.2 -Soils, Water Ecosystems, p. 441-448, Albena, Bulgaria, 30 June-06 July 2019, ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7408-82-9. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.058>

GOOGLE SCHOLAR

Moraru, S.-S., Ene, A., Gosav, S., Mineralogical composition assessment of soils from Covurlui and Braila Plains by ATR-FTIR Technique, Proceedings, vol. 29, no. 1, no. article 80 (2019), on-line ISSN 2504-3900. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019029080>

EBSCO

Moraru, S., Moraru, I., Popescu, A., Contoman, M., Pedological study regarding the ecological reconstruction of pastures soils from the lower Chineja basin, Galati county, Lucrări științifice - seria Agronomie, vol. 60, nr.2, p. 292-295, ISSN (print) 1454-7414, ISSN (electronic) 2069-6727, Editura "Ion Ionescu de la Brad", Iași, 2017. <http://www.uaiasi.ro/revagrois/PDF/2017-2/paper/59.pdf>

Arbaș (Moraru), S.-S., Simionică, A., Ene, A., Agricultural potential of chernozems near the iron and steel integrated works of Galați in the perimeter of the territorial administrative unit of Sendreni, Galați county, Annals of "Dunărea de Jos" University of Galați, Mathematics, Physics,

Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR X (XLI), No. 1, p. 5-9 (2018), Galati University Press, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2018.1.01>

Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., Moraru, D.I., Contamination level of Triticum vulgare L. cultivated on soils around a metallurgical area in Galati, Romania, Annals of „Dunarea de Jos” University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XI (XLII), No. 1, p. 1-9 (2019), Galati University Press, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2019.1.01>

Ene, A., Pantelică, A., **Arbanas (Moraru), S.-S.**, Pintilie, V., Sloată, F., Căpriță, F.C., Straticiu, M., Mirea, D., Șerban, A., Stihi, C., Frontasyeva, M., Bogdevich, O., Culighin, E., Development of analysis methodology using proton induced x-ray emission (PIXE) as a complementary technique to determine trace elements in environmental matrices, Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XI (XLII), No. 2, p. 117-125 (2019), Galati University Press, ISSN 2067-2071. <https://doi.org/10.35219/ann-ugal-math-phys-mec.2019.2.01>

Moraru, S.S., Simionică, A., Simionică, R.L., Manea, M.E., *Reconstrucția ecologică a solurilor aferente pășunilor din bazinul Chinejei, în segmentul Frumușița-Foltești, județul Galați*, Pedopeisaje naturale și antropizate din estul României. Ghidul celei de-a XXIX-a ediții a simpozionului “Factori și procese pedogenetice din zona temperată”, coord. Rusu C., Bulgariu D., Vasiliniuc I., Editura Universității “Al. I. Cuza” din Iași, p. 190-212 (2019), ISBN 978-606-714-549-6, ISSN 1582-4616.

Arbanas (Moraru), S.-S., Ene, A., *Nutrient stocks study in agroecosystems located near the steel industry, Galati, Romania*, Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, FASCICLE II, YEAR XI (XLIII), No. 2, p. 82-93 (2020), Galati University Press, ISSN 2067-2071. <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/math/article/view/4045>

LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE:

A. Conferințe naționale

Sorina Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Steluța Gosav, *Investigarea compoziției mineralogice a solurilor agricole din aria de influență a Combinatului Siderurgic Galați prin Spectroscopie ATR-FTIR*, Conferință științifică cu participarea elevilor “Fizica medicală: simbioză între Fizică, Medicină și Mediu”, Galați, Secțiunea 2: Mediul înconjurător: teorie, instrumente, aplicații, 28 februarie 2019, Universitatea “Dunarea de Jos” din Galați, Facultatea de Științe și Mediu, prezentare orală, p. 3 din Program și p. 43 din Rezumatele conferinței.

https://www.ugal.ro/files/stiri%20si%20evenimente/program_conferinta_Fizica_medicala_2019.pdf

B. Conferințe internaționale

Moraru Simona, Moraru Ionel, Popescu Adina, Contoman Maria, *Pedological Study Regarding the Ecological Reconstruction of Pastures Soils from the Lower Chineja Basin, Galați County*, Simpozionul de Agricultură și Industrie Alimentară, Iași, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară “Ion Ionescu de la Brad” din Iași, Facultatea de Agricultură, 19-20 octombrie 2017, First Section: Water and Soil, poster, p. 11 din Program. <http://www.uaiasi.ro/simpozion/simpozion2017/fisiere/Program--2017.pdf>

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Alina Simionică, Antoaneta Ene, *Agricultural Potential of Chernozems Near the Iron And Steel Integrated Works of Galati, in the Perimeter of the Territorial Administrative Unit of Sendreni, Galati County*, 6th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea “Dunarea de Jos” din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018, prezentare orală OP.2.1, p. 11 din Program, p. 51 din Book of Abstracts.

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2018/abstracts-2018>

Prezentare premiată - First prize - Scientific Conference of the Doctoral School of “Dunarea de Jos” University of Galati, 6th edition, Universitatea “Dunarea de Jos” din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018.

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Alina Simionică, *Pedological Study of Pasture Soils in the Southern Part of Galati County for Ecological Reconstruction*, 6th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018, poster PP.2.17, p. 27 din Program, p. 171 din Book of Abstracts.

http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/2018/05_Program_detaliat_al_conferintei_2018.pdf

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2018/abstracts-2018>

Prezentare premiată - Honourable mention - Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 6th edition, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 7-8 iunie 2018.

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Alina Simionică, Răzvan-Laurențiu Simionică, Mirela-Elena Manea, Georgiana-Elena Lupu, *Stadiul actual al cunoașterii fertilității solurilor din terenurile cu folosința arabil, în unitatea de terasă a comunei Tuluțești, județul Galați*, a XXVIII-a ediție a Simpozionului cu participare internațională "Factori și procese pedogenetice din zona temperată" cu tema: Pedopeisaje din teatre de război, Universitatea "Al. I. Cuza" din Iași, Facultatea de Geografie și Geologie; Academia Română, Filiala din Iași-Colectivul de Geografie, Iași, România, 21-23 septembrie 2018, poster, p. 16 din Program, p. 227 din Ghid.

Sorina-Simona Moraru, Antoaneta Ene, Alina Simionică, *Hydro-Physical Characteristics of Calcaro-Calcic Chernozems in the Malina River Basin, Galati County, Romania*, 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, Section 3: Nuclear and sub-Nuclear Physics and Applications, Constanța, 10-13 iulie 2018, Universitatea "Ovidius" din Constanța, poster, p. 160 din Book of Abstracts. <http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP-2018-BOOK-of-ABSTRACTS.pdf>

Antoaneta Ene, Claudia Stih, Ana Pantelică, Marina V. Frontasyeva, **Sorina-Simona Moraru**, *Nuclear and Related Techniques Used for the Investigation of Soil Pollution and Metal Transfer in Plants in Industrial Areas*, 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, Section 3: Nuclear and sub-Nuclear Physics and Applications, Constanța, 10-13 iulie 2018, Universitatea "Ovidius" din Constanța, poster, p. 120 din Book of Abstracts.

<http://ibwap.ro/wp-content/uploads/2018/07/IBWAP-2018-BOOK-of-ABSTRACTS.pdf>

Sorina Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, *Investigation of Hydro-Physical Characteristics of Agricultural Soils in Galati Region, Romania*, UGAL International Conference Multidisciplinary HUB for the Higher Education Internationalization by Means of Innovative Interaction with the Labour Market and Society, Galați, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, ACADEMIC project, CNFIS - FDI - 2018 - 0054, Session: Progress in Science, Engineering, and Management of Agriculture and Food Bio-resources, 26-27 octombrie 2018, Galați, România, poster.

<http://www.fdi.ugal.ro/index.php/ro/conference-home>

Moraru S.S., Ene A., Gosav S., Moraru D.I., Sloata F., *Relation Between Land Use, Industrial Activity and Metal Accumulation in Plants*, 32nd Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation, Târgoviște, Session: Moss survey, 18-21 februarie 2019, Universitatea "Valahia" din Târgoviște, România, poster, p. 8 și 81 din Programme & Abstracts. https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/Book_of_Abstract_TFM_2019_final.pdf

Ene A., Stih C., Frontasyeva M., **Moraru S.S.**, Pantelica A., *Nuclear and Atomic Techniques Used for Heavy Metal Pollution Investigations in Agroecosystems*, 32nd Task Force Meeting of the UNECE ICP Vegetation, Târgoviște, Session: Moss survey, 18-21 februarie 2019, Universitatea "Valahia" din Târgoviște, România, poster, p. 8 și 75 din Programme & Abstracts.

https://icpvegetation.ceh.ac.uk/sites/default/files/Book_of_Abstract_TFM_2019_final.pdf

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Steluta Gosav, Dana Iulia Moraru, *Soil Properties Assessment in the Frame of Heavy Metals Contamination Due to Industrial Activities in Galati Area, Romania*, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG - Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods

in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, prezentare orală OP.2.4, p. 12 din Program, p. 64 din Book of Abstracts.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/programme-2019>

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>

Prezentare premiată - First prize - Scientific Conference of the Doctoral School of "Dunărea de Jos" University of Galati, 7th edition, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Dana Iulia Moraru, *Contamination Level of Triticum Vulgare L. Cultivated on Soils around a Metallurgical Area in Galati, Romania*, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, poster PP.2.2, p. 31 din Program, p. 213 din Book of Abstracts. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/programme-2019>
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>

Antoaneta Ene, Ana Pantelică, **Sorina-Simona Arbanas (Moraru)**, Violeta Pintilie, Florin Sloată, Florina Cristiana Căpriță, Mihai Straticiu, Dragoș Mirea, Andreea Șerban, Claudia Stîhi, Marina Frontasyeva, Oleg Bogdevich, Elena Culighin, *Development of analysis methodology using Proton Induced X-ray Emission (PIXE) as a complementary technique to determine trace elements in environmental matrices*, 7th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG - Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, Romania, 13-14 iunie 2019, poster PP.2.4, p. 31 din Program, p. 215 din Book of Abstracts.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/programme-2019>

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2019/abstracts-2019>

Antoaneta Ene, **Sorina-Simona Moraru**, Dana Iulia Moraru, *Assessment of bioaccumulation of heavy metals in sunflower cultivated in the agricultural area next to steel industry*, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Albena, Bulgaria, Section: Soils, 28 iunie-07 iulie 2019, poster, p. 47 din Plenary Programme.

Sorina-Simona Moraru, Antoaneta Ene, Steluta Gosav, *Study of the correlativity between parameters and mineralogy of contaminated agricultural soils*, 19th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Planetary Science - SGEM Geoconference 2019, Albena, Bulgaria, Section: Soils, 28 iunie-07 iulie 2019, poster, p. 47 din Plenary Programme.

Sorina Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Steluta Gosav, Dana Iulia Moraru, *Intensive Agricultural Practices and Industrial Activities Influence on Soil Fertility of Agroecosystems from Prut and Siret Lowlands, SE Romania*, MONITOX International Symposium Deltas and Wetlands, Tulcea, Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020, code BSB165, Section 3 - Environmental Technologies, Restoration and Management of Aquatic Ecosystems, 15-17 septembrie 2019, Tulcea, România, poster S3.16, p. 7 din Program, p. 80 din Book of Abstracts.

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/MONITOX_Symposium_Program_and_Abstracts.pdf

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/abstract_book_symposium.pdf

Antoaneta Ene, Oleg Bogdevich, Elena Zubcov, Yuriy Deng, Thomas Spanos, Ana Pantelică, Marina Frontasyeva, Claudia Stîhi, Liliana Teodorof, Adrian Burada, Cristina Despina, Dana Iulia Moraru, Elena Culighin, Alina Sion, Vasile Bașliu, Alina Cioromila, **Sorina Simona Moraru**, Florin Sloată, *Nuclear and Atomic Techniques Used for the Quantification and Mapping of Heavy Metals and Trace Elements in Soils*, MONITOX International Symposium Deltas and Wetlands, Tulcea, Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020, code BSB165, Section 1 - Monitoring of Toxicants in Rivers - Deltas - Seas Ecosystems in the Black Sea Basin, 15-17 septembrie 2019, Tulcea, România, poster S1.07, p. 4 din Program, p. 24 din Book of Abstracts.

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/MONITOX_Symposium_Program_and_Abstracts.pdf

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/abstract_book_symposium.pdf

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, Steluta Gosav, *Mineralogic Composition Assessment of Soils from Covurlui and Braila Plains by ATR-FTIR Technique*, Simpozionul Internațional

“Prioritățile chimiei pentru o dezvoltare durabilă”, PRIOCHEM XV, Section 4: Students section, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Chimie și Petrochimie, București, 30 octombrie-1 noiembrie 2019, București, România, poster, p. 242 din Abstract Book. <https://icechim.ro/wp-content/uploads/summary2019-proceedings.pdf>

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, *Nutrient stocks study in agroecosystems located near the steel industry, Galati, Romania*, 8th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG-Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Romania, 18-19 iunie 2020, prezentare orală OP.2.8, p. 10 din Program, p. 73 din Book of Abstracts.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-2020>

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-20201>

Prezentare premiată - First prize - Scientific Conference of the Doctoral School of “Dunărea de Jos” University of Galati, 8th edition, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Romania, 18-19 iunie 2020.

Antoaneta Ene, **Sorina-Simona Arbanas (Moraru)**, Steluta Gosav, Florin Sloata, Magdalena Aflori, Vasile Basliu, Alina Cantaragiu, *Assessment of mineralogical composition of cultivated soils impacted by iron and steel industry using combined advanced techniques*, 8th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG -Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Romania, 18-19 iunie 2020, prezentare orală OP.2.9, p. 10 din Program, p. 74 din Book of Abstracts.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-2020>

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-20201>

Antoaneta Ene, **Sorina Simona Arbanas (Moraru)**, Florin Sloata, *Review of assessment methodology used for soil and sediments pollution by heavy metals based on single and multiple complex indexes*, International Conference „Environmental Toxicants in Freshwater and Marine Ecosystems in the Black Sea Basin”, Kavala, Greece, Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020, code BSB165, Greece, 8-11 septembrie 2020, poster P.B.6, p. 5 din Conference program și p. 41 din Abstract Book.

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/Program_Conference_Kavala_2020.09.08_11.pdf

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/Abstract_Book_Conference_Kavala_2020.09.08_11.pdf

Antoaneta Ene, Ana Pantelica, Claudia Stih, **Sorina Simona Moraru**, Alina Ceoromila, *Assessment of quality of Danube River sediments in Romania, ecological and health risk*, International Conference „Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health”, Galati, Romania, Section 4: Health and environment education, innovative solutions to improve scientific information dissemination, 23-26 septembrie 2020, poster P.A.21, p. 4 din Conference program, p. 44 din Abstract Book.

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/PROGRAM_CONFERENCE_GALATI_23_26_09_2020.pdf

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/Abstract_Book_Galati_Conference_23_26_September_2020.pdf

Sorina-Simona Moraru, Antoaneta Ene, *Nitrogen, phosphorus and potassium investigation in topsoil layers from temperate agroecosystems, SE Romania*, International Conference „Environmental Challenges in the Black Sea Basin: Impact on Human Health”, Galati, Romania, Section 3: Environmental technologies, remediation and management of riverine, deltaic and coastal ecosystems, 23-26 septembrie 2020, poster P.A.17, p. 3 din Conference program, p. 38 din Abstract Book.

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/PROGRAM_CONFERENCE_GALATI_23_26_09_2020.pdf

https://www.monitox.ugal.ro/images/events/Abstract_Book_Galati_Conference_23_26_September_2020.pdf

Sorina-Simona Arbanas (Moraru), Antoaneta Ene, *Agricultural potential of soils in Sendreni and Tulucesti areas, Galati county*, 9th Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG-Perspectives and challenges in doctoral research, Galați, Section 2: Advanced investigation methods in environment and biohealth, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Romania, 10-11 iunie 2021, poster PP.2.3, p. 32 din Program, p. 233 din Book of Abstracts.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/programme-21>

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-2022>

PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE

1. **RESEARCH GRANT JINR-Romania no. 21/2018**, Development of laboratory infrastructure for applications of nuclear and magnetic techniques on characterization of agricultural soils and content of potentially toxic elements, Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Order IUCN 321/21.05.2018, Director Romania: Ene Antoaneta (UDJ Galati); student doctorand, membru; 2018-2019.

2. **RESEARCH Project JINR-Romania no. 111/2018**, Assessment of industrial impact on agroecosystems and human health risk in Romania using nuclear and related analytical techniques, Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Order IUCN 322/21.05.2018, Director Romania: Ene Antoaneta (UDJ Galati); student doctorand, membru; 2018-2019.

3. **RESEARCH Project JINR-Romania no. 112/2018**, Assessment of air and soil quality in Romania studied by NAA and related analytical techniques, Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Order IUCN 322/21.05.2018, Project Director: Stihl Claudia (Valahia University of Targoviște), Ene Antoaneta (Project Responsible, UDJ Galati); student doctorand, membru; 2018-2019.

4. **Project JINR-Romania no. 63/2019**, Assessment of industrial impact on agroecosystems and human health risk in Romania using nuclear and related analytical techniques, JINR Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Order JINR 397/27.05.2019, Leaders from Romania: Ene Antoaneta (Project Director, UDJ Galati), Project Responsible: Stihl Claudia (Valahia University of Targoviște); student doctorand, membru; 2018-2019.

5. **Project JINR-Romania nr. 64/2019**, Assessment of air and soil quality using biomonitoring, neutron activation analysis and related analytical techniques, JINR Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Order JINR 397/27.05.2019, Leaders from Romania: Stihl Claudia (Project Director, Valahia University of Targoviste), Ene Antoaneta (Project Responsible partner P1, UDJ Galati); student doctorand, membru; 2018-2019.

6. **RESEARCH GRANT JINR-Romania no. 26/2019**, Development of laboratory infrastructure for applications of nuclear and related techniques on the characterization of agricultural soils and transfer of potentially toxic elements in plants, Theme no. 03-4-1128-2017/2019, Director Romania: Ene Antoaneta (UDJ Galati); student doctorand, membru; 2018-2019.

7. **Project Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020**, code BSB27, Black Sea Basin interdisciplinary cooperation network for sustainable joint monitoring of environmental toxicants migration, improved evaluation of ecological state and human health impact of harmful substances, and public exposure prevention (MONITOX) (2018-2021), Grant contract 105070/14.09.2018, Project Manager (Leader Partner) Ene Antoaneta (UDJG); student doctorand, voluntar, 2018-2021.

8. **Project Joint Operational Programme Black Sea Basin 2014-2020**, code BSB165, Creating a system of innovative transboundary monitoring of the transformations of the Black Sea river ecosystems under the impact of hydropower development and climate change (HydroEcoNex), (2018-2021), Grant contract 105067/14.09.2018, Project coordinator (Partner PP3) Ene Antoaneta (Dunarea de Jos University of Galati); (implementation period: 21 September 2018-20 March 2021); student doctorand, voluntar, 2018-2021.

9. **Proiectul Excelență, performanță și competitivitate în activități CDI la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, EXPERT (ID 345)**; Programul 1-Dezvoltarea sistemului național de cercetare-dezvoltare, Subprogram 1.2-Performanță instituțională-Proiecte de finanțare a excelenței în CDI; Cod proiect:14PFE/17.10.2018; Coordonator: Prof.dr. ing. Bahrim Gabriela-Elena; student doctorand, grup țintă, 2019-2020.

10. **Proiect: Burse pentru educația antreprenorială în rândul doctoranzilor și cercetătorilor postdoctorat (BeAntreprenor!)**, Cod MySMIS: 124539, Programul Operațional Capital Uman, Axa prioritară 6-Educație și competențe; Director UDJG: Moraru Luminița; student doctorand, grup țintă, septembrie 2019- ianuarie 2021.

11. **Project JINR-Romania no. 68/2020**, Air pollution assessment by neutron activation analysis and related atomic methods using biological indicators, cod temă 03-4-1128-2017/2022,

Order IUCN 269/20.05.2020, Director: Ene Antoaneta (UDJ Galati). student doctorand, membru; 2019-2020.

12. **Project JINR-Romania no. 71/2020**, Neutron activation analysis and related analytical techniques for assessment of sediment quality in the Danube River and its deltaic areas, cod temă 03-4-1128-2017/2022, Order IUCN 269/20.05.2020, Director: Ene Antoaneta (UDJ Galati); student doctorand, membru; 2019-2020.

13. **RESEARCH GRANT JINR-Romania no. 32/2020**, Development of laboratory infrastructure for applications of nuclear and related techniques for the assessment of soil and sediment quality (metals, radionuclides, microplastics) in Danube and Black Sea region, Theme no. 03-4-1128-2017/2022, Director Romania: Ene Antoaneta (UDJ Galati). student doctorand, membru; 2019-2020.

Axa prioritară 6 - Educație și competențe

Titlul proiectului: Burse pentru educația antreprenorială în rândul doctoranzilor și cercetătorilor postdoctorat (BeAntreprenor!)

Contract nr. 51680/09.07.2019 POCU/380/6/13 - Cod SMIS: 124539

Punctele de vedere exprimate în lucrare aparțin autorului și nu angajează Comisia Europeană și Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, beneficiară a proiectului.