

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

*Cercetări privind prezența metalelor grele în ecosistemele
acvatice naturale și antropogene
din Sud-Estul României*

Doctorand,
Ing. Ira-Adeline SIMIONOV

Conducător științific,

Prof. Emerit. dr. ing. Victor CRISTEA

Membru corespondent al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură

Seria I 4: Inginerie Industrială Nr. 60

GALAȚI

2019

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

*Cercetări privind prezența metalelor grele
în ecosistemele acvative naturale și antropogene
din Sud-Estul României*

Doctorand

Ing. Ira-Adeline SIMIONOV

Președinte:

Prof. univ. dr. ing. Cătălin FETECĂU

Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Director General Platforma de Cercetare Multidisciplinară ReForm UDJG

Conducător științific:

Prof. univ. Emerit. dr. ing. Victor CRISTEA

Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Membru corespondent al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură „Gheorghe Ionescu-Șișești”

Referenți oficiali:

Prof. univ. dr. Mircea-Nicușor NICOARĂ

Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Cercet. Șt. Gr. II dr. ing. Mioara COSTACHE

Director Stațiunea de Cercetare-Dezvoltare pentru Piscicultură, Nucet

Prof. univ. dr. habil. ing. Antoaneta ENE

Universitatea “Dunărea de Jos”

Seria I 4: Inginerie Industrială Nr. 60

GALAȚI, 2019

MULȚUMIRI

Finalizarea anilor de cercetare doctorală au individualizat sentimente profunde de fericire, împlinire, avânt științific, recunoștință și prețuire, acestea fiind definite pe deplin de volumul de muncă depusă, cât și de modul minuțios, dedicarea deplină și pasiunea față de subiectul tratat în actuala teză de doctorat. Prezenta teză de doctorat a prins contur în urma unor colaborări solide intra- și inter-instituționale, fapt ce conferă o valoare științifică ridicată, cât și perspective de dezvoltare pe termen mediu și lung a cercetărilor întreprinse.

Afirm cu strășnicie faptul că, la baza formării mele din punct de vedere profesional, cât și uman, și-au pus amprenta personalități remarcabile, cărora le mulțumesc și le sunt pe deplin recunoscătoare. Astfel, doresc să-i aduc aleasă considerație și o deosebită recunoștință conducătorului științific al tezei, **Distinsului Domn Prof. Emerit. Dr. Ing. Acad. Victor CRISTEA**, căruia îi sunt pe deplin îndatorată. Domnul Profesor mi-a oferit în permanență susținere, contribuind la integrarea mea în echipa de cercetare coordonată de Domnia Sa, modelându-mi ideile științifice și ajutându-mă să găsesc calea potrivită pentru îndeplinirea cu succes a tuturor dezideratelor. Sunt profund recunoscătoare pentru răbdarea domniei sale de a-mi îndruma pașii timizi pe calea cunoașterii și generozitate de care a dat dovadă în procesul de împărtășire a vastelor cunoștințe pe care le deține. Domnul Profesor a reprezentat, reprezintă și va reprezenta un model demn de urmat în ceea ce privește etica profesională, dar și personală.

Doresc să adresez calde mulțumiri echipei mele academice formate din distinsul domn **Ș.L. Dr. Ing. Ec. Ștefan-Mihai PETREA**, distinsa doamnă **Dr. Ing. Ecolog. Alina MOGODAN** și distinsul domn **Conf.univ.dr. Dragoș CRISTEA**, care mi-au acordat suport științific necondiționat, dând dovadă de profesionalism, mult tact, conduită academică și umană, de-a lungul desfășurării întregului stagiul doctoral. Sunt nespuse de recunoscătoare pentru îndrumarea competentă și permanentă oferită de domniile sale pe parcursul elaborării și realizării acestei teze de doctorat.

Aș vrea, de asemenea, să aduc profunde mulțumiri colectivului de Ecotoxicologie din cadrul Facultății de Biologie din Iași, format din distinsul domn **Prof. Univ. Dr. Biolog. Mircea NICOARĂ**, distinsul domn **CS Dr. Biolog Ștefan-Adrian STRUNGARU**, distinsa doamnă **Ș.L. dr. Elena CIORNEA** și distinsul domn **Ș.L. dr. Gabriel PLAVAN** pentru împărtășirea cunoștințelor în ceea ce privește poluarea mediului acvatic cu metale grele, fapt pentru care sunt deplin recunoscătoare. Domniile sale mi-au oferit necondiționat toată aptitudinile necesare realizării multiplelor analize de laborator, fapt pentru care le mulțumesc și le sunt pe deplin îndatorată. O contribuție însemnată la realizarea acestei lucrări doctorale o deține și distinsa doamnă **Ș.L. Dr. Biolog. Lăcrămioara OPRICĂ** din cadrul Facultății de Biologie din Iași, care a fost liantul între Universitățile "Dunărea de Jos" din Galați și "Alexandru Ioan Cuza" din Iași. Această colaborare, înlesnită de domnia sa, a dat naștere la cultivarea și respectiv, perpetuarea unor relații profesionale frumose, concretizate prin proiecte comune de cercetare.

Deosebită grațitudine datorez **membrilor comisiei de îndrumare**, în special distinsei doamnei **Conf. Dr. Ing. Iulia Rodica GRECU**, pentru timpul prețios acordat și pentru sfaturile științifice valoroase. Doresc să mulțumesc referenților acestei teze de doctorat, pentru acceptul și bunăvoința de a recenza această lucrare: doamnei **Prof. Univ. Dr. Habil. Ing. Antoaneta ENE**, din cadrul UDJ Galați, doamnei **CS II Dr. Ing. Mioara COSTACHE** din cadrul SCDP Nucet, domnului **Prof. Univ. Dr. Biolog Mircea NICOARĂ**, din cadrul U.A.I.C. Iași și nu în ultimul rând, domnului Director General al Platformei de Cercetare ReForm **Prof. Univ. Dr. Ing. Cătălin FETECĂU** pentru onoarea de a prezida această comisie.

Pe această cale doresc să le mulțumesc colegilor pentru constantul sprijin moral și științific oferit în perioada desfășurării activității experimentale aferente acestei teze de doctorat: **Dr. Ing. Elena SÎRBU**, **Dr. Ing. Marian-Tiberiu COADĂ**, **Dr. Ing. Sândița PLĂCINTĂ**, **Ing. Cristi RÎMNICEANU**, **Drd. Ing. Alexandru-Cristian BANDI** și **Drd. Ecolog Raluca GURIENCU**.

Cu deosebită recunoștință și dragoste, dedic această teză mamei mele, **Livia SIMIONOV**, și în special tatălui meu, **Marian SIMIONOV**, care m-a inspirat prin pasiunea și setea lui de cunoaștere, având mereu grijă să ne umple casa de cărți și inima de afecțiune.

**Cu deosebit respect,
Drd. Ing. Ira-Adeline SIMIONOV**

Cuprins

Cuprins	i
INTRODUCERE	iv
CAPITOLUL I. Stadiul actual al cunoașterii în problematica abordată	1
1.1. Proprietățile generale ale metalelor	1
1.2. Particularități ale metalelor grele întâlnite în ecosistemele acvatice	1
1.3. Prezența metalelor grele în apă, sedimente și organismul peștilor	2
1.4. Originea metalelor în macrosistemul fluviu-delta-mare	2
1.5. Cadrul legislativ privind prezența metalelor grele la nivelul ecosistemelor acvatice	3
CAPITOLUL II. Metalele grele și tendința de acumulare a acestora la nivelul ecosistemelor acvatice	3
2.1. Ecosisteme acvatice naturale (ecosistemele naturale din România)	3
2.1.1. Fluviul Dunărea	4
2.1.2. Delta Dunării	4
2.1.3. Marea Neagră	5
2.2. Ecosisteme antropogene	5
2.2.1. Heleștee din amenajări piscicole extensive	5
2.2.2. Sistemele recirculante de acvacultură	6
CAPITOLUL III. Materiale, metode și tehnici de investigare	7
CAPITOLUL IV. Evaluarea prezenței metalelor grele în cadrul ecosistemelor acvatice naturale luate în studiu	7
4.1. Parametrii fizico-chimici ai apei și starea ecologică a ecosistemelor acvatice naturale	7
4.1.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)	7
4.1.1.1. Port Galați km (S3)	7
4.1.1.2. Port Tulcea (S2)	8
4.1.2. Delta Dunării	8
4.1.2.1. Lacul Barcaz (S6)	8
4.1.2.2. Lacul Soschi (S7)	9
4.1.3. Marea Neagră	9
4.1.3.1. Sf. Gheorghe (S8)	9
4.1.3.2. Perișor (S9)	10

4.2. Particularități ale mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvatice naturale	10
4.2.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)	10
4.2.1.1. Port Galați (S3)	10
4.2.1.2. Port Tulcea (S4)	11
4.2.2. Delta Dunării	12
4.2.2.1. Lacul Barcaz (S6)	12
4.2.2.2. Lacul Soschi (S7)	13
4.2.3. Marea Neagră	14
4.2.3.1. Sf. Gheorghe (S8)	14
4.2.3.2. Perișor (S9)	15
4.2.3.3. Constanța	16
4.3. Evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic.....	17
4.3.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)	17
4.3.1.1. Port Galați	17
4.3.1.2. Port Tulcea	17
4.3.2. Delta Dunării	17
4.3.2.1. Lacul Barcaz.....	17
4.3.2.2. Lacul Soschi.....	17
4.3.3. Marea Neagră	17
4.3.3.1. Sf. Gheorghe	17
4.3.3.2. Perișor.....	17

CAPITOLUL V. Evaluarea prezenței metalelor grele în cadrul ecosistemelor acvatice antropogene luate în studiu

5.1. Parametrii fizico-chimici ai apei din ecosistemelor acvatice antropogene	18
5.1.1. Sisteme extensive de creștere în acvacultură	18
5.1.2. Sisteme intesive de creștere în acvacultură	19
5.2. Particularități ale mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvatice antropogene	19
5.2.1. Heleșteu Mălina	19
5.2.2. Heleșteu Pietrei.....	20
5.2.3. Sistemul recirculant din acvacultură	21
5.3. Evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic pescuit	22
5.3.1. Heleșteul Mălina	22

5.3.2. Heleșteul Pietrei	22
5.3.3. Sistemul recirculant de acvacultură	22
CAPITOLUL VI. Studiu comparativ între ecosistemele acvatice analizate	23
6.1. Studiu comparativ privind parametri fizico-chimici ai apei și starea ecologică a ecosistemelor acvatice analizate	23
6.2. Studiu comparativ privind particularitățile mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvatice studiate	23
6.3. Studiu comparativ privind evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic prelevat din ecosistemele acvatice luate în studiu.....	25
6.4. Evaluarea statusului ecologic al ecosistemelor acvatice luate în studiu prin metoda calculării Indicelui de Poluare (IP) și determinarea consumului zilnic estimat (EDI)	25
CAPITOLUL VII. Analiza de corelație și machine learning.....	26
7.1. Analiza de corelație între metalele, respectiv metaloizii de la nivelul apei, sedimentelor și biomasei animale.....	26
7.2. Analiza de predicție între metalele, respectiv metaloizii de la nivelul biomasei animale	27
CAPITOLUL VIII. Concluzii finale, contribuții personale, direcții ulterioare de cercetare	28
DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR ÎNTREPRINSE	
Publicații în reviste cotate/indexate ISI	
Publicații în reviste BDI	
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	

INTRODUCERE

Apa nu este un produs comercial ca oricare altul, ci o moștenire care trebuie păstrată, protejată și tratată ca atare [1]. Poluarea apei este un proces de alterare a calității fizice, chimice sau biologice a acesteia, aceasta fiind produsă de o activitate umană. Un corp de apă poate fi poluat nu doar atunci când prezintă modificări vizibile (schimbări de culoare, irizații de produse petroliere, mirosuri neplăcute) dar și atunci când, deși aparent bun, acesta conține, chiar și într-o cantitate redusă, substanțe potențial toxice [2]. Omar și colab. (2013) caracterizează mediul acvatic drept ultimul "destinatar" al poluanților naturali sau antropogeni [3].

În cadrul listelor cu substanțe potențial toxice, metalele sunt considerate a avea rol prioritar în ceea ce privește urmărirea calității apei [2]. Unele metalele grele precum mercurul, plumbul sau cadmiul, sunt compuși ce nu pot fi degradați pe cale naturală, având un timp îndelungat de remanență în mediu, context în care este scoasă în evidență pericolozitatea acestora, fapt reliefat de potențialul ridicat de acumulare la nivelul lanțului trofic [2].

Revoluția industrială și dezvoltarea tehnologică sunt principalele fenomene ce au condus la eliberarea unor cantități semnificative de compuși toxici în aer, apă și sol [4]. Datorită imposibilității degradării metalelor grele, influența negativă a acestora persistă de-a lungul unor perioade îndelungate de timp, neutralizarea acestora având loc doar prin diluție, asociere cu compuși organici și mineralizare.

Teritoriul României dispune de toate tipurile de resurse de apă iar cea mai mare resursă de apă dulce provine din Fluviul Dunărea și din râurile interioare [2]. Pe parcursul său, Dunărea acumulează deversări din toate cele 10 țări pe care le străbate, acestea provenind din diverse activități antropogene. Contaminanți de metale sunt eliberați în bazinul Dunării iar o parte din aceștia ajung în Delta Dunării [5]. De asemenea, în contextul creșterii semnificative a debitului apei, există posibilitatea reală de contaminare a zonelor din avalul cursului de apă, în urma mobilizărilor masive de metale grele [2].

Apele uzate, menajere și industriale, exercită o presiune semnificativă asupra mediului acvatic, datorită încărcărilor cu materii organice, nutrienți și substanțe periculoase [2]. În mediul rural 95,9% din populație nu este conectată la sistemele de canalizare, așadar managementul apelor uzate din mediul rural reprezintă o problema principală până în anul 2018 [6].

Organismele acvatice expuse acestor contaminanți acumulează aceste elemente iar, uneori, cantitatea de metale raportată la masa corporală a acestor organisme crește odată cu evoluția lanțului trofic. În cazul desfășurării activităților de pescuit în arealul acvatic contaminat și, ulterior, prin consumul capturilor, elementele toxice sunt transferate la nivelul corpului uman, unde pot provoca o serie de afecțiuni a căror gravitate depinde de metalul acumulat și de cantitatea acumulată.

România se situează în proporție de 97,4% în Bazinul Hidrografic al Dunării iar sectorul românesc de Dunăre reprezintă transportatorul final al efluenților de ape uzate, acumulate din țările din amonte, în Marea Neagră [6].

Marea Neagră reprezintă principala sursă de capturi marine pentru țările riverane [7]. În cadrul unui studiu de piață realizat de Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale, s-a precizat faptul că în perioada 2005-2013 ponderea medie a producției de pește din România a fost următoarea: 68% acvacultură, 27% pescuit în ape continentale și 5% pescuit marin [8].

Peștii se numără printre cele mai importante grupuri de specii sălbatice, din perspectivă ecologică dar și economică, reprezentând o resursă alimentară valoroasă atât pentru oameni cât și pentru fauna [9]. Aceștia dețin un rol major în funcționarea ecosistemelor acvatice [9].

În același timp, peștii sunt bioindicatori recunoscuți în evaluarea poluării mediului acvatic cu diferite substanțe chimice. Drept urmare, acest lucru este posibil prin urmărirea dinamicii concentrațiilor de metale grele în organismele acvatice.

Pentru a evita un dezastru poluant, precum cel din Minamata, Japonia, manifestat prin intoxicații cronice cu mercur și cadmiu a populației umane în urma consumului de pește contaminat, monitorizarea continuă a poluării mediului este obligatorie [10].

Necesitatea și valoarea aplicativă a lucrării

Prezenta lucrare de doctorat este menită să aducă o contribuție însemnată în ceea ce privește tematica prezenței metalelor grele în ecosistemele acvative naturale și antropogene din sud-estul României. Astfel, în contextul necesității unei monitorizări continue a ecosistemelor acvatice naturale și antropogene, prezenta lucrare contribuie la întocmirea unui tablou holistic privind calitatea acestora, în vederea întocmirii unui plan de intervenție rapidă, cât și pentru aplicarea unui management de control eficient, în cazurile care solicită acest lucru. Astfel, prin întocmirea unor analize comparative între ecosistemele acvatice naturale, respectiv cele antropogene, sunt vizate spre a fi clarificate o serie de aspecte din aria de studiu a bioacumulării elementelor metalice la nivelul acestora. Caracterul de noutate și utilitate al prezentei teze de doctorat este reliefat de complexitatea și amploarea studiilor comparative multistratificate, ariile geografice de analiză, multitudinea speciilor de pești analizate, folosirea unor mecanisme de prelucrare a datelor bazate pe tehnica machine learning, valoarea aplicativă reală a lucrării, cât și de rezultatele elucidante obținute.

Obiectivele generale ale acestei teze de doctorat **"Cercetări privind prezența metalelor grele în ecosistemele acvative naturale și antropogene din Sud-Estul României"** sunt următoarele:

- ➔ *Evaluarea gradului de acumulare al elementelor metalice în diferite specii autohtone de pești;*
- ➔ *Evaluarea calității apei din cadrul ecosistemelor acvatice studiate, din punct de vedere al parametrilor fizico-chimici, respectiv a concentrației metalelor cu potențial ridicat de toxicitate;*
- ➔ *Încadrarea corpurilor de apă din cadrul ecosistemelor acvatice studiate în clase de calitate și determinarea indicelui de poluare al acestora;*
- ➔ *Caracterizarea sedimentelor de la nivelul ecosistemelor acvatice studiate din punct de vedere al concentrației diferitelor elemente metalice, respectiv a carbonului organic și azotului total;*
- ➔ *Determinarea consumului zilnic estimat în vederea identificării riscului asupra sănătății umane, asociat cu ingerarea de metale grele, în urma consumului de pește;*
- ➔ *Identificarea unor corelații și realizarea unor analize predictive asociate concentrațiilor de metale din apă, sedimente și biomasă piscicolă.*

Teza de doctorat este structurată în 2 părți după cum urmează:

I. ANALIZA DATELOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE este alcătuită din două capitole și prezintă date recente asupra problematicei abordate. În cadrul acestor capitole, s-a realizat o analiză aprofundată referitor la prezența metalelor grele în ecosistemele acvatice și în macro-

sistemul Dunăre-Delta Dunării-Marea Neagră. Datele obținute în urma documentării au fost centralizate și prelucrate pentru a genera un tablou cât mai clar asupra tematicii abordate.

II. ACTIVITATEA EXPERIMENTALĂ este alcătuită din 6 capitole și cuprinde investigații originale realizate pe parcursul stagiului doctoral. În cadrul acestor capitole s-a realizat caracterizarea ecosistemelor acvatice naturale și antropogene luate în studiu. De asemenea, datele înregistrate au fost utilizate pentru calcularea indicelui de poluare (IP), a consumului zilnic estimate (EDI), a diferitelor corelații și predicții.

Teza de doctorat cuprinde 239 de pagini, în care sunt incluse 40 de tabele și 397 de grafice, studiul documentar reprezentând un procent de 12,5% iar partea experimentală 87,5%.

Activitățile de cercetare ale tezei de doctorat au fost realizate cu ajutorul infrastructurii *Centrului Român pentru Modelarea Sistemelor Recirculante de Acvacultură (MoRAS)*, parte integrată a *platformei de cercetare multidisciplinară ReForm – UDJG*, din cadrul Facultății de Știința și Ingineria Alimentelor, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați.

Doctoranda a fost implicată pe parcursul stagiului de doctorat în echipa de cercetare a proiectelor: H2020-MSCA-RISE-2014 cu acronimul "ECOFISH", PN-III-P3-3.6- H2020-2016- 0110 cu titlul "*Cercetări privind transformarea potențială a fermelor de pește convenționale în ferme organice prin stabilirea unui model și a unui ghid de bune practici*", PE nr. 124/24.05.2018 cu titlul „*Ghid de bune practici privind reproducerea și dezvoltarea postembrionară a speciilor dulcicole de pești din România - model de bază în dezvoltarea sectorului piscicol național*”.

CAPITOLUL I. Stadiul actual al cunoașterii în problematica abordată

Obiectivul principal al acestui capitol a fost acela de a prezenta proprietățile generale, particularitățile și originea metalelor în ecosistemele acvatice, precum și cadrul legislativ privind prezența metalelor grele la nivelul mediului acvatic.

1.1. Proprietățile generale ale metalelor

Termenii funcționali descriptivi acceptați pentru clasificarea metalelor în studiile realizate asupra mediului înconjurător sunt: "urme de metal", "micro-nutrient" și "metale grele" [11]. Urmele de metal sunt acele metale care se regăsesc în concentrații mai mici de 0.1% ($<1000 \text{ mg kg}^{-1}$) în sol. Termenul „micro-nutrient” se utilizează pentru a descrie acele elemente care sunt necesare în cantități mici de către anumite organisme, pentru a-și îndeplini funcțiile metabolice. Termenul de „metal greu” este utilizat pentru a descrie elementele care au numărul atomic mai mare de 20. Duruibe și colab., (2007) și Oves și colab. (2012) au definit metalele grele ca acel grup de metale și metaloide cu o densitate atomică mai mare de 4g/cm^3 sau de 5 ori mai mare comparativ cu densitatea apei [12] [13].

Metalele sunt circulate în mod natural în mediu, iar elemente metalice se găsesc în toate organismele vii, unde joacă o varietate de roluri. Acestea pot fi elemente structurale, stabilizatori ai structurilor biologice, componente ale mecanismelor de control și activatori enzimatici sau componente ale sistemelor redox. Prin urmare, unele metale sunt elemente esențiale, iar deficiența lor duce la afectarea funcțiilor biologice. Atunci când sunt prezente în exces, metalele esențiale pot deveni, de asemenea, toxice. Alte metale nu au o funcție esențială și pot da naștere unor manifestări toxice, chiar și atunci când aporturile lor sunt mici. Spre deosebire de majoritatea substanțelor chimice organice, care pot fi eliminate din țesuturi prin degradare metabolică, metalele sunt elemente indestructibile și, prin urmare, prezintă potențial de acumulare. Excreția reprezintă principalul mecanism de eliminare al metalelor din țesut. Acumularea în țesut nu implică neapărat apariția efectului toxic, deoarece în cazul anumitor metale se formează complecși inactivi sau depozite.

1.2. Particularități ale metalelor grele întâlnite în ecosistemele acvatice

În mediul acvatic, toxicitatea și biodisponibilitatea metalelor sunt influențate de diferiți factori abiotici, cum ar fi pH-ul, duritatea apei, alcalinitatea și acumularea de substanțe humice [14] [15]. Toxicitatea metalelor în apă crește proporțional cu alcalinitatea, pH-ul, salinitatea, temperatura și conductivitatea [16]. Conform lui Strungaru și colab. (2015), cei mai importanți doi parametri ai apei care influențează acumularea de metale în biotă, sunt pH-ul și salinitatea [17]. Există o puternică corelație între acești parametri și acumularea de metale, astfel că un mediu acid determină o creștere în acumularea de metale în biota [17]. Pentru multe metale, alcalinitatea este un co-factor mult mai important decât duritatea [18]. Sărurile metalelor grele (Mn, Co, Ni, Cr, As, Cd, Pb, Fe, Sn, Sb, Au, Ag, Cu, Hg) sunt compuși stabili și toxici, drept urmare pot reprezenta forme de poluare severă pentru apele de suprafață [19]. Complecșii anorganici, organici insolubili sau partial solubili sunt mai puțin toxici decât simplii ioni [19]. Analizând impactul lor asupra peștilor, metalele grele pot fi clasificate ca fiind esențiale: fier (Fe), zinc (Zn), cupru (Cu), magneziu (Mg), seleniu (Se), cobalt (Co), vanadiu (Vn) și elemente neesențiale (oligoelemente potențial toxice): aluminiu (Al), arsen (As), mercur (Hg), plumb (Pb), cadmiu (Cd), bismut (Bi) [20]. Burada (2014) a afirmat că unele

metale au un impact toxic mai mare asupra mediului în comparație cu altele, precum Cd, Cr, Cu, Pb, Ni și Zn [18]. Metalele din mediul acvatic pot provoca pierderea biodiversității prin exercitarea efectelor toxice asupra biotei [21] [22] [23].

Ca elemente poluante în corpurile de apă, metalele grele au o importanță deosebită datorită incapacității lor de a se descompune, persistenței îndelungate, bio-acumulării și bio-magnificării în lanțul trofic [46, 47].

1.3. Prezența metalelor grele în apă, sedimente și organismul peștilor

Potrivit lui Heath (1995), repartiția metalelor grele în mediul acvatic este după cum urmează: distribuite în coloana de apă, precipitate în sedimente sau acumulate în substratul bentic și legate de alte elemente organice sau preluate de către organisme, fapt confirmat și de către Burada (2014) [30] [48]. Elementele metalice transportate în sistemele acvatice sunt supuse unor procese specifice, manifestate sub influența directă a parametrilor fizico-chimici ai apei.

Di Giulio și Hinton (2008) au definit fenomenul de *biodisponibilitate* ca fiind facilitatea relativă a unui element de a fi transferat din mediu într-o locație specifică dintr-un organism de interes și se referă atât la componenta apă cât și la componenta sediment [45]. **Biodisponibilitatea** metalelor în **coloana de apă** se referă la capacitatea hidrosolubilă a acestora, forma solubilă a elementelor fiind una dintre formele cele mai toxice asupra peștilor.

Purificarea coloanei de apă se realizează datorită unor mecanisme importante precum procesele de **adsorbție** și **sedimentare** [49]. Sedimentele au capacitatea de a imobiliza ionii metalici prin procese specifice cum ar fi **adsorbția**, **flocularea** și **co-precipitarea**. Prin urmare sedimentele pot acționa ca și "hot spots" de concentrație crescută a metalelor [50]. În lacurile de mică adâncime, metalele sunt mai susceptibile de a fi supuse procesului de **resuspensie** și pot provoca contaminări secundare mediului acvatic. Astfel că, sedimentele pot acționa atât ca și decantor, cât și ca sursă de metale în mediul acvatic [51] [52].

Un proces de o importanță deosebită este acela de **bioacumulare** în organismele acvatice [56] [57]. Rata de bioacumulare este influențată de anumiți factori precum temperatura și starea fiziologică a organismului (sex, vârstă, dimensiune). Metalele grele, atunci când sunt ingerate în cantități excesive pot duce la crearea de legături aleatorii cu biomoleculele celulare, cum ar fi enzimele sau proteinele pentru a forma complexi care pot compromite structura și/sau funcția lor [12]. Potrivit lui Bat și colab. (2015), metalele grele tind să se acumuleze în organismele situate în topul lanțului trofic (cum ar fi peștii în mediul acvatic), prin efecte de **biomagnificare** [58]. Procesul de **biomagnificare** este un proces complex ce presupune augmentarea concentrației toxinelor în sens ascendent în lanțul trofic.

1.4. Originea metalelor în macrosistemul fluviu-delta-mare

În ultimii ani, fluviile, deltele și zonele de coastă se confruntă cu presiuni tot mai mari iar poluarea fluviilor reprezintă o problemă transfrontalieră [67]. Sistemele fluviu-mare și mediile lor acvatice de tranziție (deltele) se confruntă cu presiuni multiple provenite din interacțiunea dinamică a proceselor fizice, chimice și biologice asupra declanșatorilor naturali și antropogeni. În mediile fluviale, metalele grele provin din diferite surse naturale și antropogene. Peste 90% din conținutul de Cd, Pb, Mn, Ni și Zn prezent în apele dulci și sedimente provine din activitățile umane [18].

Procesele naturale generatoare de elemente metalice în mediul acvatic sunt cele de eroziune și de dezagregare a rocilor sau scoarței terestre (spre exemplu, toate tipurile de roci și soluri conțin cantități scăzute de cadmiu și arsenic).

1.5. Cadrul legislativ privind prezența metalelor grele la nivelul ecosistemelor acvatice

O serie de legi au fost adoptate în vederea protejării mediului de contaminarea cu metale grele și elemente metalice. Drept urmare, Monitorul Oficial nr. 352 din 27.05.2002 publică amendamentul adoptat în cadrul Convenției de la Basel, privind consolidarea, revizuirea și ajustarea listelor ale deșeurilor periculoase, astfel că pe aceste liste se introduc deșeurile metalice sau deșeuri ce conțin elemente metalice [84]. În ceea ce privește evacuarea apelor uzate, Hotărârea 352/2005 din 2005.05.11, publicată în Monitorul Oficial al României, reglementează normele specifice privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate (Tabelul 4) [85]. Astfel că, se decide ca suma ionilor metalelor grele nu trebuie să depășească concentrația de 2 mg/dm³.

CAPITOLUL II. Metalele grele și tendința de acumulare a acestora la nivelul ecosistemelor acvatice

Dezideratul principal al acestui capitol a fost acela de a realiza o documentare aprofundată a literaturii de specialitate în problematica abordată, centralizarea datelor și prelucrarea acestora în vederea conturării unei imagini cât mai clare privind prezența metalelor grele în ecosistemele acvatice luate în studiu.

2.1. Ecosisteme acvatice naturale (ecosistemele naturale din România)

Poluarea de-a lungul Dunării este determinată de către următoarele: surse punctuale (municipale, industriale și agricole), surse difuze (agricole și aglomerări), efecte de modificare a fluxului de apă prin abstractizare, reglare sau modificări morfologice [71].

O serie de lucrări științifice privind prezența metalelor grele în țesutul muscular al peștilor din Dunăre au fost revizuite, în vederea conturării unei imagini cât mai corecte asupra situației actuale [44] [92] [93] [95] [96] [97] [98].

Datele obținute au fost centralizate de către Simionov și colab. (2016) [99]. Datele referitoare la metalele grele din carnea de pește din fluviul Dunărea (73,5-1503 km) au fost raportate la 5 specii de pești, după cum urmează: *Alosa immaculata* (Bennet, 1835), *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758), *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758).

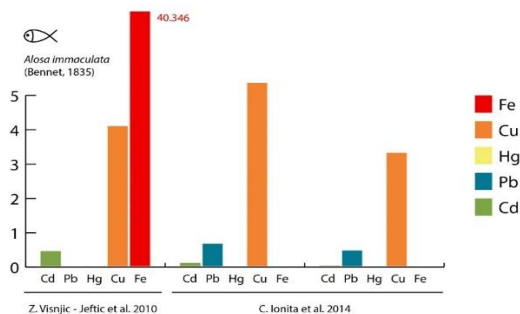


Fig. 2.1. Concentrația de metale grele în *Alosa immaculata* din fluviul Dunărea [99]

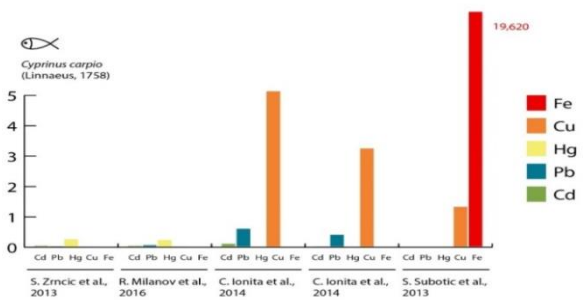


Fig. 2.2. Concentrația de metale grele în *Cyprinus carpio* din fluviul Dunărea [99]

În urma lucrărilor științifice analizate, concentrația maximă de cadmiu este raportată la *Alosa immaculata* – km 863 (0.433 μg/g masă uscată), urmată de *Cyprinus carpio* – la km 73,5

(0,010 $\mu\text{g/g}$ masă uscată) și *Silurus glanis* – km 1173, 1169 și 1170 (0,01 $\mu\text{g/g}$ masă uscată) (Figurile 2.1., 2.2., 2.3., 2.4., 2.5.) [99].

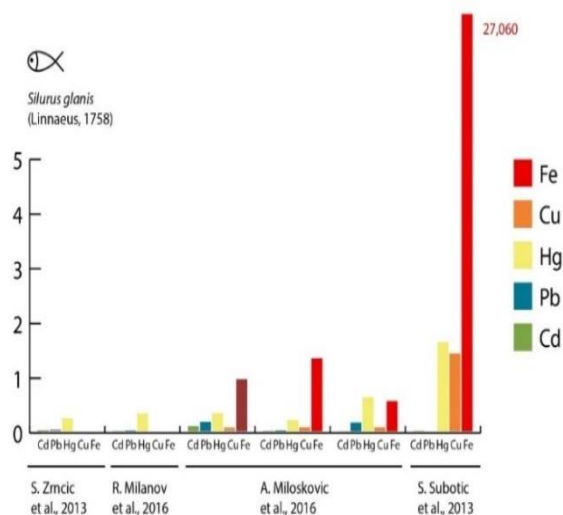


Fig. 2.3. Concentrația de metale grele în *Silurus glanis* din fluviul Dunărea [99]

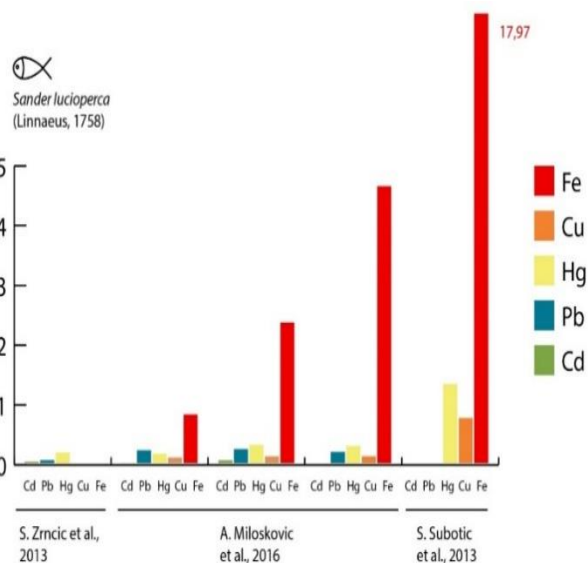


Fig. 2.4. Concentrația de metale grele în *Sander lucioperca* din fluviul Dunărea [99]

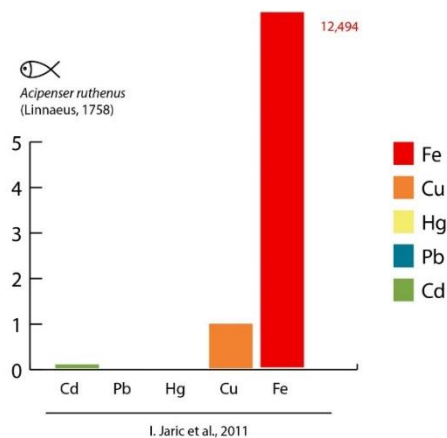


Fig. 2.5. Concentrația de metale grele în *Acipenser ruthenus* din râul Dunărea [99]

2.1.2. Delta Dunării

În ceea ce privește acumularea metalelor grele în Delta Dunării, o serie de autori au realizat studii pe această temă [18] [30] [100] [102] [103] [104] [105].

Tudor și colab. (2006) au eșantionat mușchii mai multor specii de pești din 9 locuri diferite din Delta Dunării și au înregistrat valori medii după cum urmează: pentru Cd $0,19 \pm 0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular al carasului, $0,20 \pm 0,08 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular al șalăului, pentru Pb $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular de știucă, $2,6 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular de caras, $3,9 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular de biban, $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ în țesutul muscular de babușcă [101].

2.1.3. Marea Neagră

O serie de studii au fost realizate [27] [39] [46] [58] [117] [118] [119] [120] [121] [122] [123] [124] [125] pentru stabilirea nivelului de metale grele în peștii din Marea Neagră. Zonele de prelevare a probelor din aceste studii sunt prezentate în Figura 2.6.

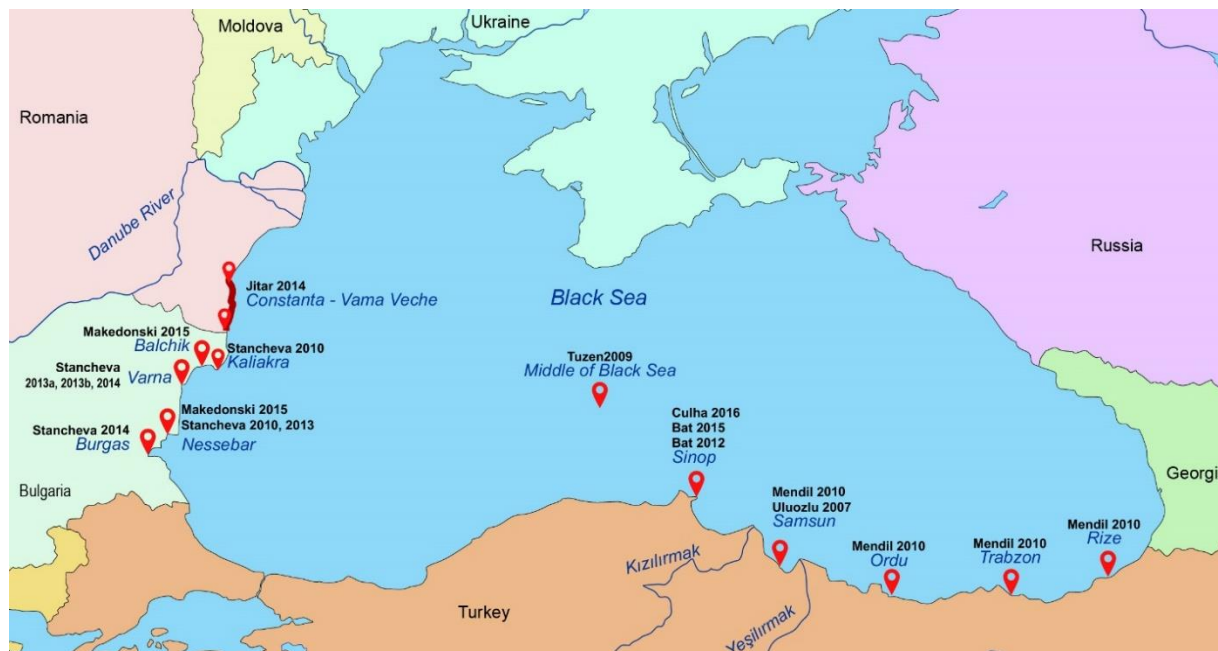


Fig. 2.6. Locații de prelevare a probelor în diferite studii ce au drept obiectiv evaluarea concentrației metalelor grele în Marea Neagră [126].

Cele mai ridicate concentrații de metale grele în țesuturile de pește din Marea Neagră sunt asociate cu barbul (*Mullus barbatus*), urmate de lufar (*Pomatomus saltatrix*). De asemenea, dintre toate metalele studiate, Zn a înregistrat cele mai mari concentrații la toate speciile de pești, urmat de Fe, Cu și As.

Concentrația maximă de metale grele din toate studiile revizuite nu a depășit limitele maxim admise de legislația europeană. Partea central-sudică a Mării Negre (zona de coastă maritimă turcească, reprezentată de sectorul situat între râurile Kizilirmak și Yeşilirmak) s-a dovedit a fi mai poluată în ceea ce privește acumularea de metale grele în carnea de pește în comparație cu partea sud-estică (zona de coastă turcească) și partea de vest (zonele de coastă românești și bulgare).

2.2. Ecosisteme antropogene

La nivelul ecosistemelor antropogene se identifică o serie de particularități distinctive, atât în ceea ce privește partea tehnică, ce implică proiectarea și funcționarea acestora, cât și legat de partea tehnologică, coroborat cu cea ecologică.

2.2.1. Heleștee din amenajări piscicole extensive

Simionov și colab. (2019) a revizuit o serie de articole științifice în ceea ce privește prezența metalelor grele în heleștee din pământ [40] [140] [141] [142] [143] iar datele sunt centralizate în Tabelul nr.9.

Tabelul 9. Concentrații de metale în fracțiile de apă și sediment din heleștee de pământ, după diverși autori [140]

Element	Apă	Sediment	Referință
Fe	0,32±0,04 mg ml ⁻¹	-	Onuoha, 2017
	0,41 ± 0,27 mg L ⁻¹	38,067±3166 mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
Zn	9,90 ± 0,21 mg L ⁻¹	371,17 ± 250.24 mg kg ⁻¹ dw	Ju și colab., 2017
	5,39 μg L ⁻¹	116,6mg kg ⁻¹ dw	
Cu	1,97μg L ⁻¹	39,8mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
	15,10 ± 1,04 mg L ⁻¹	177,21±127,42 mg kg ⁻¹ dw	
Cr	9.70 ± 0,04 mg L ⁻¹	70,02±19,11 mg kg ⁻¹ dw	Ju și colab., 2017
	0,2μg L ⁻¹	51,4 mg kg ⁻¹ dw	
Mn	0,16 ± 0,11 mg L ⁻¹	2877 ± 886 mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
	0,08±0,04 mg ml ⁻¹	-	Onuoha, 2017
Ni	10,61±1,84 mg L ⁻¹	45,61±9,51 mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
	1,61 μg L ⁻¹	24,1 mg kg ⁻¹ dw	Ju și colab., 2017
As	< 0,015 mg L ⁻¹	1,16 mg kg ⁻¹ dw	Feldlite și colab., 2008
	0,22μg L ⁻¹	5,2 mg kg ⁻¹ dw	Ju și colab., 2017
Pb	0,14±0,01 mg L ⁻¹	37,29±2,65 mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
	< 0,01 mg L ⁻¹	1,45 mg kg ⁻¹	Feldlite și colab., 2008
Cd	0,39 μg L ⁻¹	18,3mg kg ⁻¹ dw	Ju și colab., 2017
	0,0105± 0,0007 mg L ⁻¹	1,67±1,49 mg kg ⁻¹ dw	Ben Salem și colab., 2014
	< 0,003 mg L ⁻¹	< 0,003 mg kg ⁻¹	Feldlite și colab., 2008

2.2.2. Sistemele recirculante de acvacultură

În sistemele recirculante de acvacultură, posibilele surse de contaminare cu metale grele sunt reprezentate de eroziunea părților componente și utilizarea hranei pentru pești de tipul furajelor combinate [152] [153]. În țesutul muscular și hepatic la specia *Oreochromis niloticus* concentrațiile au variat cu valori mai ridicate observate în ficat (Tabelul 10).

Tabelul nr. 10. Concentrații de metale grele la *Oreochromis niloticus*, crescut în sistem RAS [140]

Element (mg kg ⁻¹ masă umedă)	Țesut muscular	Țesut hepatic
Zn	3,23±1,24	3,29±1,30
Fe	ND	3,79±1,79
Cu	ND	28,4±14,7
Cr	0,02±0,02	0,06±0,06
Mn	0,10±0,02	0,17±0,07

Ni	0,01±0,01	0,05±0,07
As	0,85±0,42	0,04±0,02
Cd	0,00±0,00	0,02±0,01
Pb	0,00±0,00	0,01±0,01

CAPITOLUL III. Materiale, metode și tehnici de investigare

În cadrul acestui capitol sunt descrise materialele, metodele și etapele de lucru parcurse în vederea determinării diferitelor metale din apă, sedimente și pește, precum și metodele de calcul al indicelui de poluare și al consumului zilnic estimat. Pentru cuantificarea elementelor Ca, Mg, Na, K, Zn și Fe s-a utilizat tehnica HR-CS-FAAS iar pentru cuantificarea elementelor Cu, Mn, Ni, As, Cd, Pb și Cr tehnica HR-CS-GF-AAS.

De asemenea, este descrisă într-un mod amănunțit metodologia aplicată în cazul realizării analizelor de corelație, respectiv predicție.

Ecosistemele acvatice naturale și antropogene studiate sunt adiacente macro-sistemului Dunăre-Delta Dunării-Marea Neagră iar biomasa piscicolă studiată este constituită de următoarele specii de pești: *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), *Leuciscus aspius* (Linnaeus, 1758), *Alosa immaculata* (Bennett, 1835), *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758), *Carassius gibelio* (Linnaeus, 1758), *Esox lucius* (Linnaeus, 1758), *Trachurus mediterraneus ponticus* (Steindachner, 1868), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758), *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt și Ratzeburg, 1833), *Psetta maxima maeotica* (Linnaeus, 1758).

CAPITOLUL IV. Evaluarea prezenței metalelor grele în cadrul ecosistemelor acvatice naturale luate în studiu

Obiectivul principal al acestui capitol a fost acela de a evalua ecosistemele acvatice naturale luate în studiu (fluviul Dunărea, Delta Dunării, Marea Neagră) din prisma parametrilor fizico-chimici ai apei și prezenței diferitelor metale la nivelul apei, sedimentelor și materialului biologic studiat.

4.1. Parametrii fizico-chimici ai apei și starea ecologică a ecosistemelor acvatice naturale

Parametrii fizico-chimici ai apei determinați au fost după cum urmează: temperatură ($T^{\circ}\text{C}$), oxigen dizolvat (O_2), pH, salinitate, nitriți (NO_2^-), amoniac (NH_3), cloruri (Cl^-), bicarbonați (HCO_3^-), electroconductivitate (EC) și totalul de solide dizolvate (TDS). Datorită influenței majore asupra bunăstării biomasei piscicole, în acest rezumat sunt reprezentați grafic doar compușii azotului, respectiv NO_2^- și NH_3 .

4.1.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)

4.1.1.1. Port Galați km (S3)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Fluviul Dunărea, Port Galați, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.1.4. și 4.1.5.).

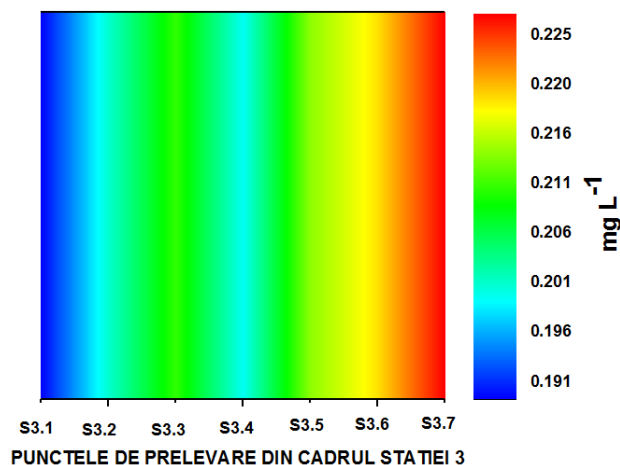


Fig. 4.1.4. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 3

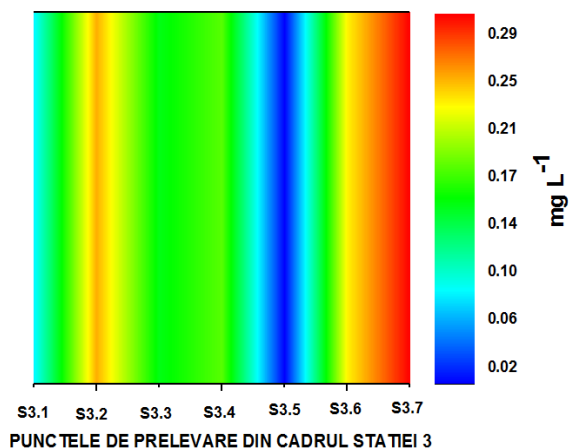


Fig. 4.1.5. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 3

4.1.1.2. Port Tulcea (S2)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Fluviul Dunărea, Port Tulcea, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.1.13. și 4.1.14.).

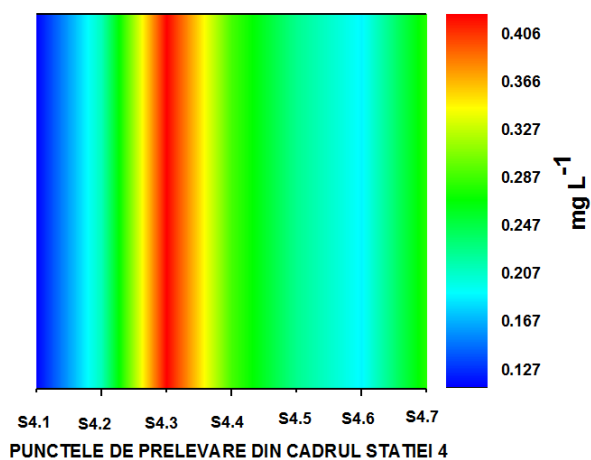


Fig. 4.1.13. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 4

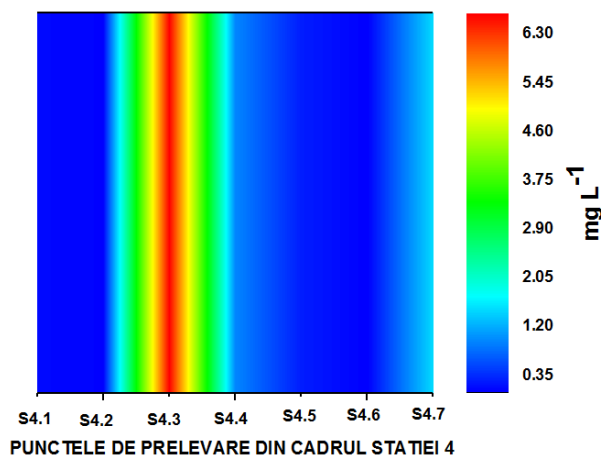


Fig. 4.1.14. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 4

4.1.2. Delta Dunării

4.1.2.1. Lacul Barcaz (S6)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Delta Dunării, Lac Barcaz, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.23. și 4.24.).

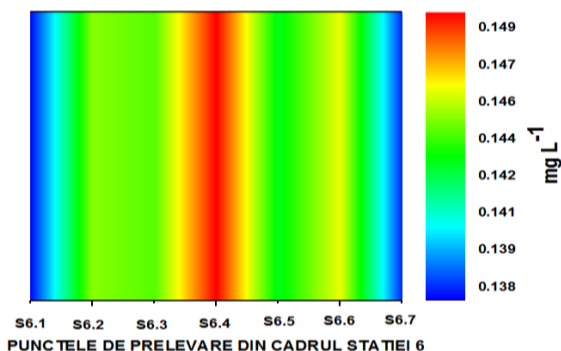


Fig. 4.23. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 6

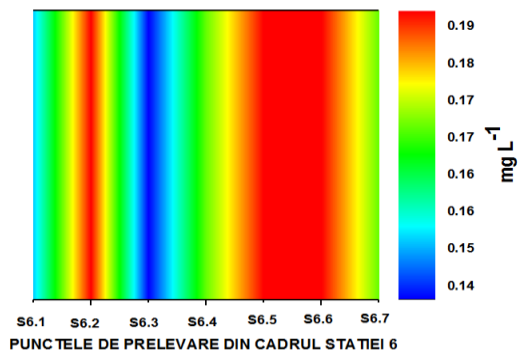


Fig. 4.24. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 6

4.1.2.2. Lacul Soschi (S7)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Delta Dunării, Lac Soschi, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.1.33. și 4.1.34.).

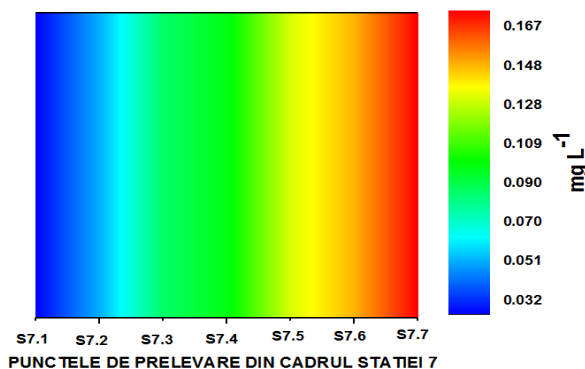


Fig. 4.1.33. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 7

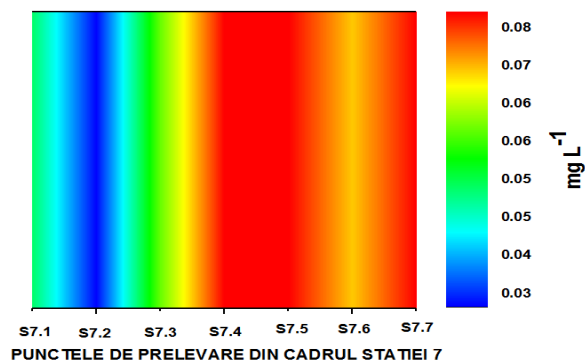


Fig. 4.1.34. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 7

4.1.3. Marea Neagră

4.1.3.1. Sf. Gheorghe (S8)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Marea Neagră, Sf. Gheorghe, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.1.42. și 4.1.43.).

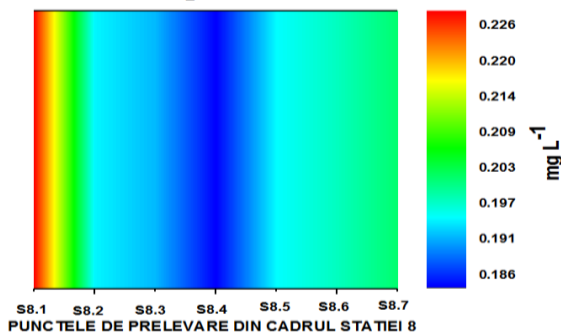


Fig. 4.1.42. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 8

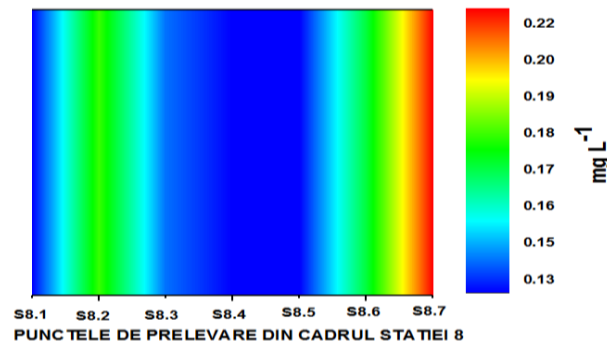


Fig. 4.1.43. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 8

4.1.3.2. Perișor (S9)

Valorile înregistrate pentru concentrațiile de NO_2^- și NH_3 în apa prelevată din Marea Neagră, Perișor, au depășit valorile maxim admise de legislația națională în vigoare (HG nr. 202/2002) (Figurile 4.1.52. și 4.1.53.).

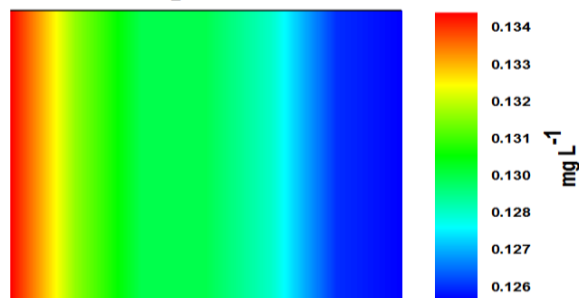


Fig. 4.1.52. Concentrația de NO_2 din apa prelevată din Stația nr. 9

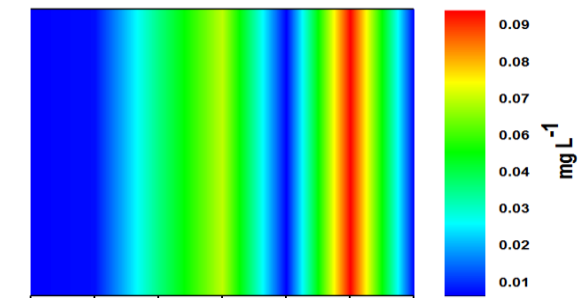


Fig. 4.1.53. Concentrația de NH_3 din apa prelevată din Stația nr. 9

4.2. Particularități ale mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvatice naturale

Metalele, respectiv metalozii determinați de la nivelul apei, sedimentelor și materialului piscicol au fost după cum urmează: Pb, Cd, As, Ni, Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K și Na. Datorită potențialului ridicat de toxicitate, în acest rezumat sunt reprezentate grafic valorile concentrațiilor de Cd, respectiv Pb.

4.2.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)

4.2.1.1. Port Galați (S3)

Concentrația de Pb (Figura 4.2.1.) în apa prelevată din fluviul Dunărea Port Galați a înregistrat valoarea maximă ($3,57 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S3.1 iar valoarea minimă ($2,74 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S3.2. În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($13,82 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S3.1 iar valoarea minimă ($7,75 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S3.3.

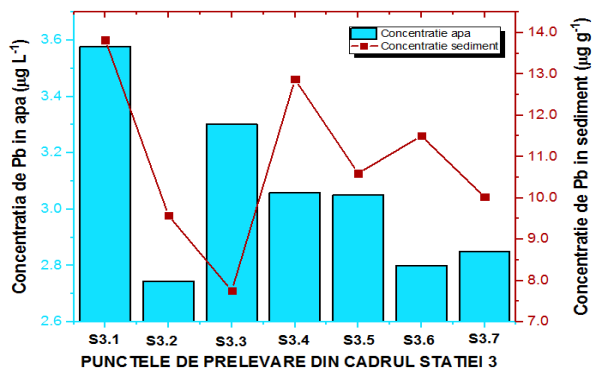


Fig. 4.2.1. Concentrația de Pb în apă și sediment

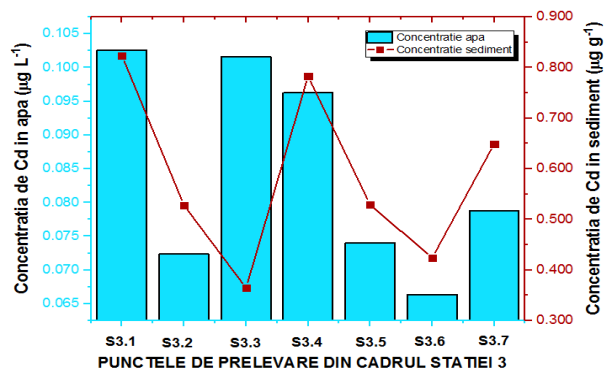


Fig. 4.2.2. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd (Figura 4.2.2.) în apa prelevată din fluviul Dunărea Port Galați a înregistrat valoarea maximă ($0,1026 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S3.1. iar valoarea minimă ($0,066 \mu\text{g L}^{-1}$) în

punctul S3.6. În ceea ce privește concentrația Cd-miului în sedimentele analizate, valoarea maximă (0,82 $\mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S3.1. iar valoarea minimă (0,36 $\mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S3.3.

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.13.) [90]. Valorile înregistrate în ficat, la speciile analizate (plătică, scrumbie și avat) au crescut de 0,73, 0,61, respectiv 48,74 mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.12.) [90]. Valorile înregistrate în ficat, la speciile analizate (plătică, scrumbie și avat) au crescut de 12,59, 3,96, respectiv 10,73 mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi. Valorile înregistrate în ficat, la speciile analizate (plătică, scrumbie și avat) au crescut de 0,73, 0,61, respectiv 48,74 mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

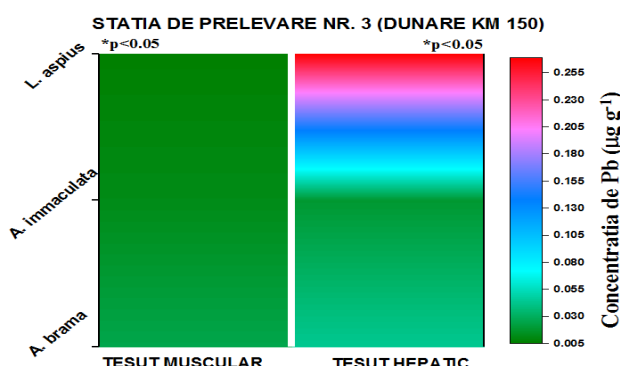


Fig. 4.2.13. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

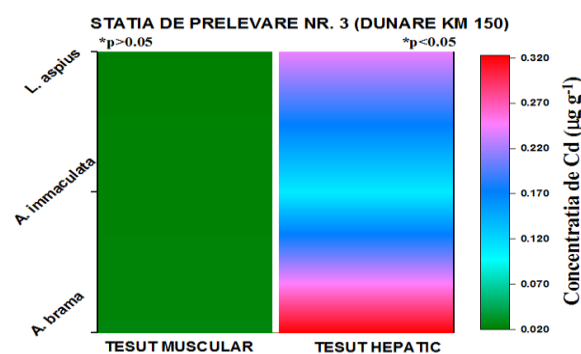


Fig. 4.2.12. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

4.2.1.2. Port Tulcea (S4)

Concentrația de Pb (Figura 4.2.22.) în apa prelevată din fluviul Dunărea Port Tulcea a înregistrat valoarea maximă (1,503 $\mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S4.1 iar valoarea minimă (1,276 $\mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S4.2. În ceea ce privește concentrația Pb-ului în sedimentele recoltate, valoarea maximă (5,002 $\mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S4.1 iar valoarea minimă (7,75 $\mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S4.2.

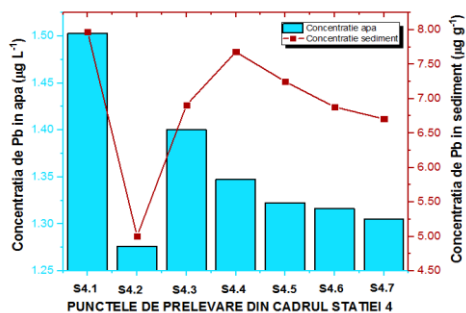


Fig. 4.2.22. Concentrația de Pb în apă și sediment

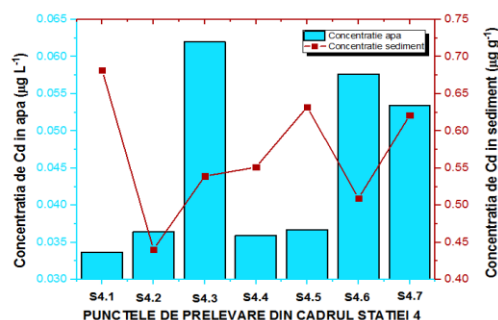


Fig. 4.2.23. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd (Figura 4.2.23.) în apa prelevată din fluviul Dunărea Port Tulcea a înregistrat valoarea maximă (0,062 $\mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S4.3. iar valoarea minimă (0,033 $\mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S4.1. În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă (0,681 $\mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S4.1. iar valoarea minimă (0,440 $\mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S4.2.

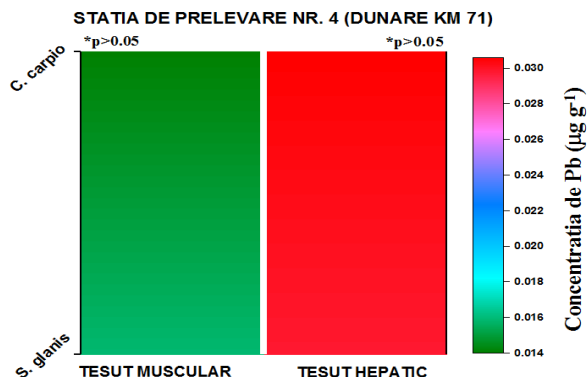


Fig. 4.2.34. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

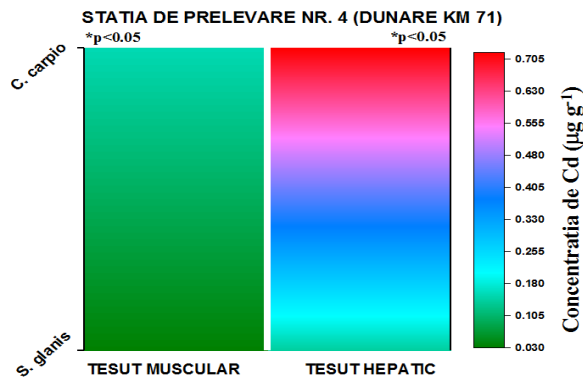


Fig. 4.2.33. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.34.) [90]. Valorile înregistrate în ficat, la speciile analizate (somon și crap) au crescut de 0,90, respectiv 1,21 mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare luate în studiu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.33.) [90]. Valorile înregistrate în ficat, la speciile analizate (somon și crap) au crescut de 3,43, respectiv 3,71 mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

4.2.2. Delta Dunării

4.2.2.1. Lacul Barcaz (S6)

Concentrația de Pb (Figura 4.2.42.) în apa prelevată din Delta Dunării Lac Barcaz a înregistrat valoarea maximă ($0,888 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S6.2 iar valoarea minimă ($0,652 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S6.1. În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($9,831 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S6.5 iar valoarea minimă ($8,472 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S6.1.

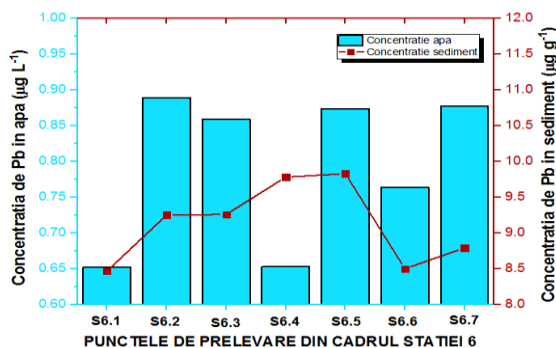


Fig. 4.2.42. Concentrația de Pb în apă și sediment

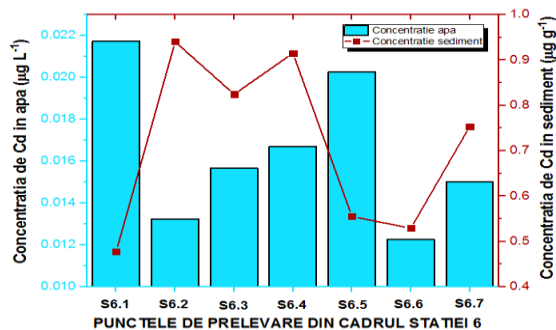


Fig. 4.2.43. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd (Figura 4.2.43.) în apa prelevată din Delta Dunării Lac Barcaz a înregistrat valoarea maximă ($0,021 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S6.1. iar valoarea minimă ($0,012 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S6.6. În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,940 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S6.2. iar valoarea minimă ($0,478 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S6.1.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare ale somnului și crapului luate în studiu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.54.) [90]. În cazul lui *S. glanis* și *C. gibelio* valorile înregistrate în mușchi au crescut de 33,95, respectiv de 0,89 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în ficat.

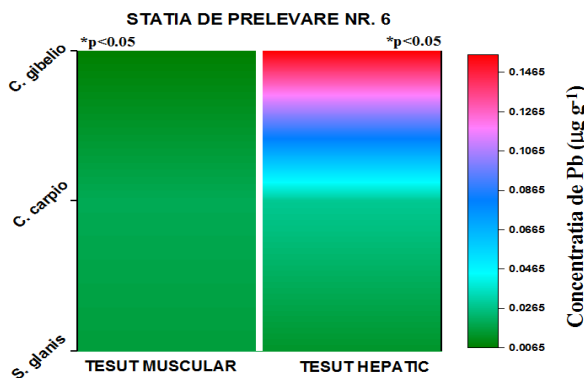


Fig. 4.2.53. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

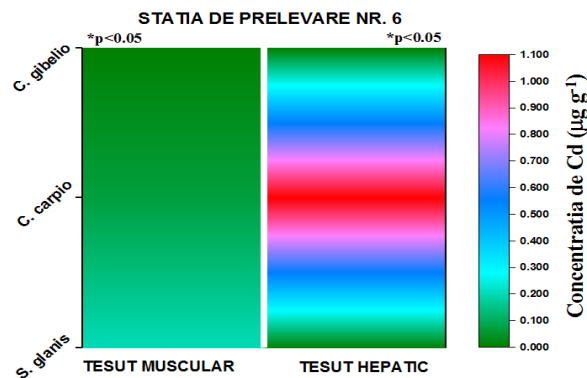


Fig. 4.2.54. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.53.) [90]. Valorile înregistrate în mușchi la *S. glanis* au crescut de 0,19 ori mai mult comparativ cu cele înregistrate în ficat. În cazul lui *C. carpio* și *C. gibelio* valorile înregistrate în ficat au crescut de 0,49, respectiv de 22,67 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

4.2.2.2. Lacul Soschi (S7)

Concentrația de Pb (Figura 4.2.62.) în apa prelevată din Delta Dunării Lac Soschi a înregistrat valoarea maximă ($0,6813 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S7.1 iar valoarea minimă ($0,5020 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S7.6. În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($8,5920 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S7.7 iar valoarea minimă ($7,0175 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S7.1.

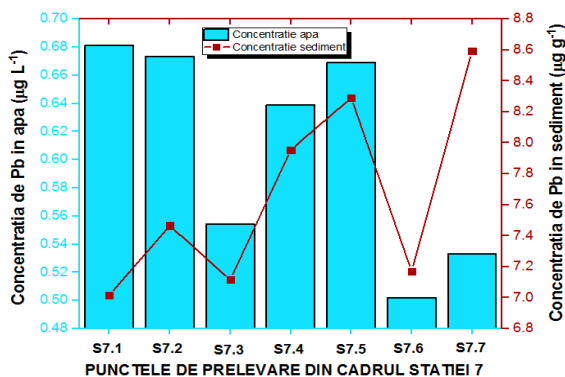


Fig. 4.2.62. Concentrația de Pb în apă și sediment

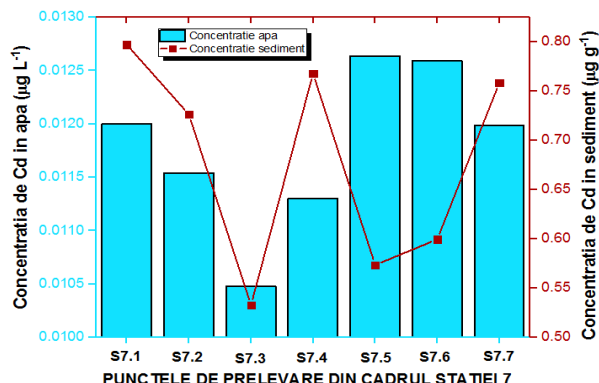


Fig. 4.2.63. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd (Figura 4.2.63.) în apa prelevată din Delta Dunării Lac Soschi a înregistrat valoarea maximă ($0,0126 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S7.5. iar valoarea minimă ($0,0104 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S7.3. În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,7971 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S7.1 iar valoarea minimă ($0,5328 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S7.3.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare a peștilor luați în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, reglementat de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.74.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul speciilor analizate (somn, crap, știucă, caras) au crescut de 5,88, 14,38, 0,10, respectiv de 3,64 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

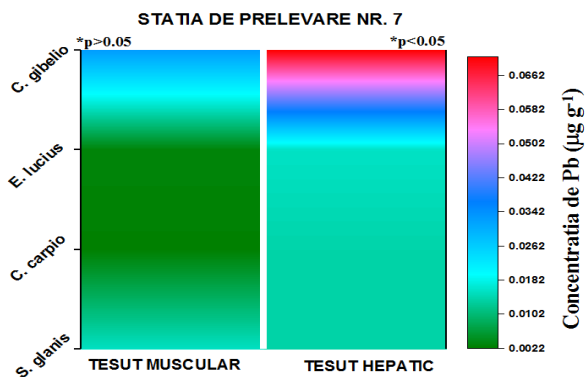


Fig. 4.2.73. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

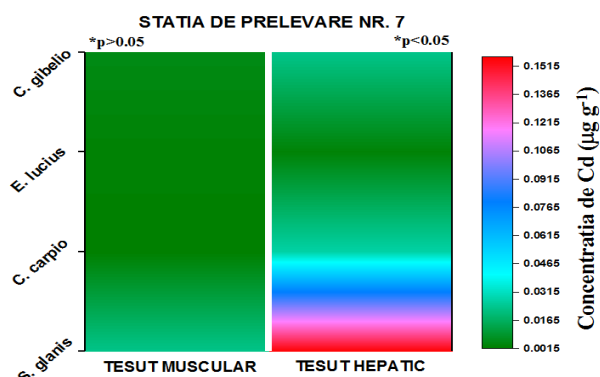


Fig. 4.2.74. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.73.) [90]. Valorile înregistrate în mușchi la *S. glanis* au crescut de 0,14 ori mai mult comparativ cu cele înregistrate în ficat. În cazul lui *C. carpio*, *E. lucius* și *C. gibelio* valorile înregistrate în ficat au crescut de 4,80, 4,29, respectiv de 1,17 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

4.2.3. Marea Neagră

4.2.3.1. Sf. Gheorghe (S8)

Concentrația de Pb în apa prelevată din Marea Neagră Sf. Gheorghe (Figura 4.2.82.) a înregistrat valoarea maximă ($3,105 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S8.2 iar valoarea minimă ($2,975 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S8.1. În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($3,666 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S8.1 iar valoarea minimă ($3,090 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S8.2.

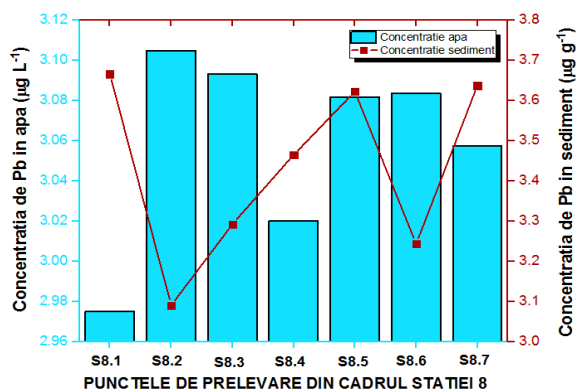


Fig. 4.2.82. Concentrația de Pb în apă și sediment

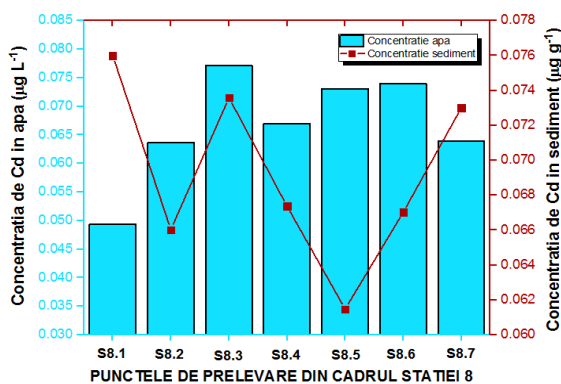


Fig. 4.2.83. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd în apa prelevată din Marea Neagră Sf. Gheorghe (Figura 4.2.83.) a înregistrat valoarea maximă ($0,0771 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S8.3 iar valoarea minimă ($0,0494 \mu\text{g L}^{-1}$) în

punctul S8.1. În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,0759 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S8.1 iar valoarea minimă ($0,0614 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S8.5.

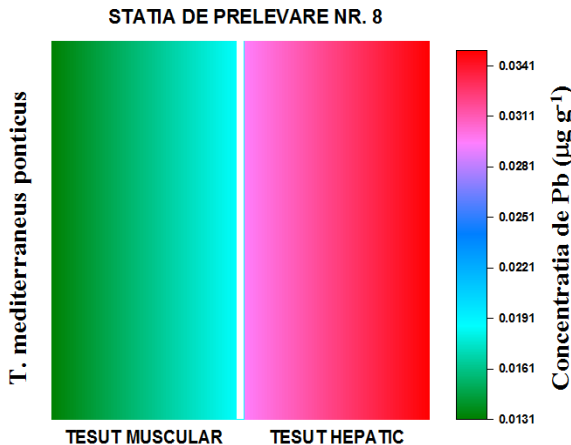


Fig. 4.2.93. Concentrația de Pb în stavrid

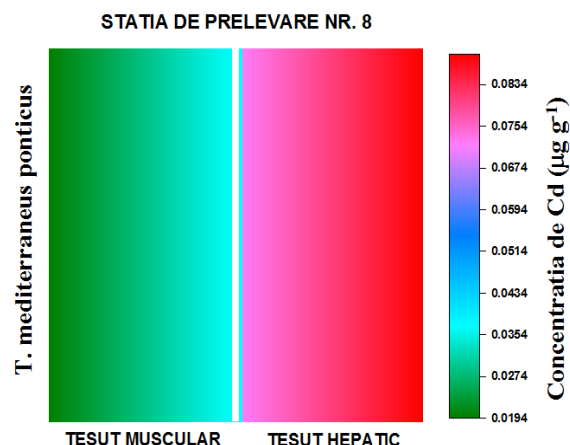


Fig. 4.2.94. Concentrația de Cd în stavrid

Valoarea înregistrată de Cd în țesutul muscular al stavridului analizat nu depășește nivelul maxim admis, pentru consumul uman, reglementat de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.94.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul stavridului au crescut de 3,58 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valoarea înregistrată de Pb în țesutul muscular al stavridului analizat nu depășește nivelul maxim admis, pentru consumul uman, reglementat de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.93.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul stavridului au crescut de 1,66 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

4.2.3.2. Perișor (S9)

Concentrația de Pb în apa prelevată din Marea Neagră Perișor (Figura 4.2.103.) a înregistrat valoarea maximă ($0,957 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S9.2 iar valoarea minimă ($0,503 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S9.1. În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($1,652 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S9.2 iar valoarea minimă ($1,394 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S9.3.

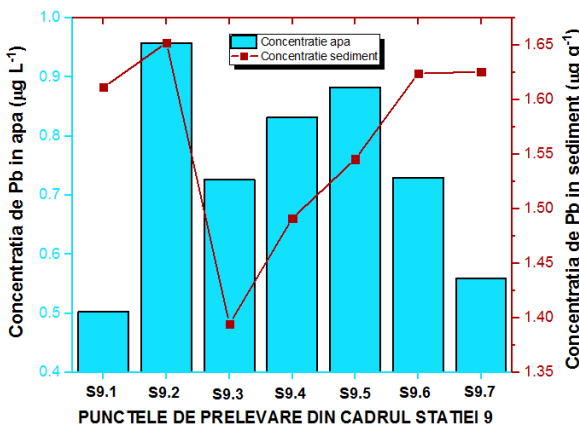


Fig. 4.2.103. Concentrația de Pb în apă și sediment

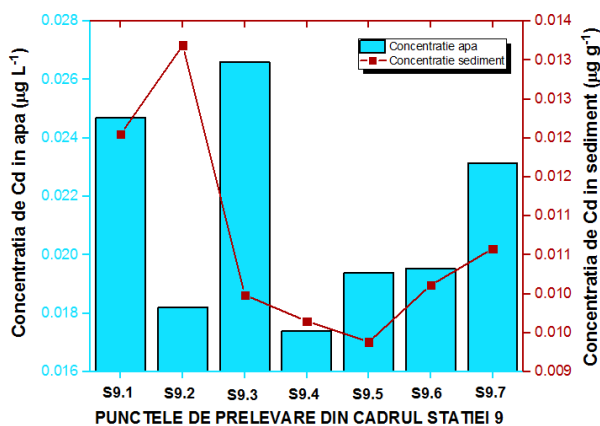


Fig. 4.2.104. Concentrația de Cd în apă și sediment

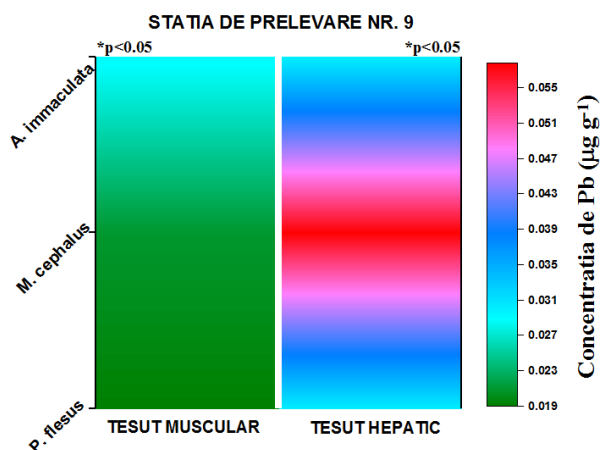


Fig. 4.2.114. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

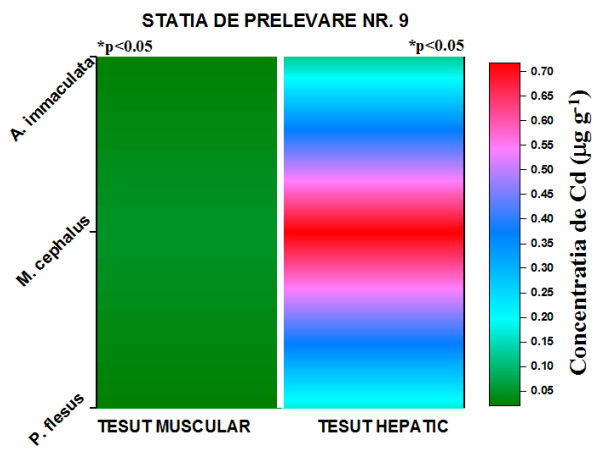


Fig. 4.2.115. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

Concentrația de Cd în apa prelevată din Marea Neagră Perisor (Figura 4.2.104.) a înregistrat valoarea maximă ($0,0266 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S9.3 iar valoarea minimă ($0,0174 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S9.4. În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,0131 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S9.2 iar valoarea minimă ($0,0093 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S9.5.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare ale speciilor analizate nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.115.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul speciilor analizate (cambulă, chefal și scrumbie) au crescut de 7,14, 13,81, respectiv 4,31 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare ale speciilor analizate nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 4.2.114.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul speciilor analizate (cambulă, chefal și scrumbie) au crescut de 0,57, 1,75, respectiv de 0,02 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

4.2.3.3. Constanța

Valorile înregistrate în cazul concentrației de Pb în organismul calcanului au fost sub limita de detecție (ND), în toate țesuturile analizate.

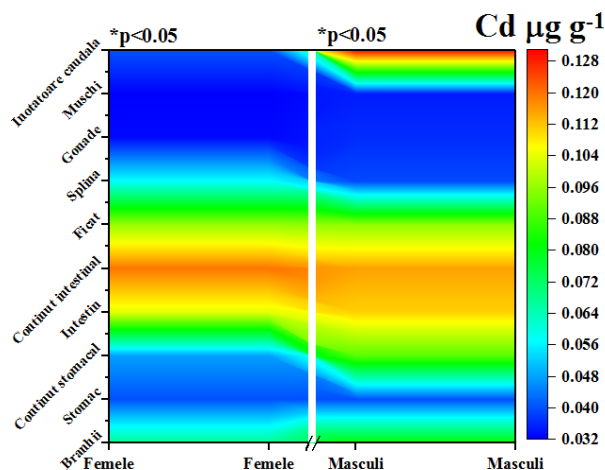


Fig. 4.2.124. Concentrația de Cd în diferite țesuturi ale calcanului

Valorile concentrației de Cd au înregistrat valorile medii cele mai ridicate în conținutul intestinal, branhii, și înotătoare caudală, atât la femele cât și la masculii de calcan (Figura 4.2.124)

4.3. Evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic

Este bine-cunoscut faptul că metalele induc stresul oxidativ iar evaluarea deteriorării oxidative și a sistemului de apărare antioxidantă la pești reprezintă o modalitate de evaluare a contaminării mediului acvatic cu metale grele [187].

4.3.1. Sectorul inferior al Fluviului Dunărea (Dunărea de Jos)

4.3.1.1. Port Galați

Se remarcă activități enzimaticice ale CAT, SOD și GPx mai crescute la specia *A. immaculata*, comparativ cu speciile *L. aspius* și *A. brama*. În ceea ce privește peroxidarea lipidică și concentrația de glicogen, specia *A. brama*, respectiv *L. aspius*, au înregistrat valori mai mari.

4.3.1.2. Port Tulcea

Se remarcă activități enzimaticice ale CAT, SOD și GPx mai crescute la specia *S. glanis*, comparativ cu specia *C. carpio*. În ceea ce privește peroxidarea lipidică și concentrația de glicogen, specia *C. carpio* a înregistrat valori mai mari.

4.3.2. Delta Dunării

4.3.2.1. Lacul Barcaz

Se remarcă activități enzimaticice ale CAT, SOD, GPx și MDA mai crescute la specia *S. glanis*, comparativ cu speciile *C. carpio* și *C. gibelio*. Valorile cele mai ridicate ale concentrației de glicogen s-au înregistrat la specia *C. gibelio*, atât în ficat cât și în mușchi

4.3.2.2. Lacul Soschi

Se remarcă activități enzimaticice ale CAT, SOD, GPx și MDA mai crescute la specia *C. carpio*, comparativ cu speciile *S. glanis*, *C. gibelio* și *E. lucius*. Valorile cele mai ridicate ale concentrației de glicogen s-au înregistrat la specia *C. gibelio*, atât în ficat cât și în mușchi.

4.3.3. Marea Neagră

4.3.3.1. Sf. Gheorghe

S-a urmărit activitatea enzimatică (CAT, SOD, GPx, MDA) la specia *T. M. Ponticus* (stavrid).

4.3.3.2. Perișor

Se remarcă activități enzimaticice ale CAT, SOD și GPx mai crescute la specia *A. immaculata*, comparativ cu speciile *P. flesus* și *M. cephalus*. În ceea ce privește peroxidarea lipidică și concentrația de glicogen, specia *P. flesus*, respectiv *M. cephalus*, au înregistrat valori mai mari.

CAPITOLUL V. Evaluarea prezenței metalelor grele în cadrul ecosistemelor acvatice antropogene luate în studiu

Obiectivul principal al acestui capitol a fost acela de a evalua ecosistemele acvatice antropogene luate în studiu (sisteme piscicole extensive și intensive de creștere) din prisma parametrilor fizico-chimici ai apei și prezenței diferitelor metale la nivelul apei, sedimentelor și materialului biologic studiat.

5.1. Parametrii fizico-chimici ai apei din ecosistemelor acvatice antropogene

Parametrii fizico-chimici ai apei determinați au fost după cum urmează: temperatură ($T^{\circ}\text{C}$), oxigen dizolvat (O_2), pH, salinitate, nitriți (NO_2^-), amoniac (NH_3), cloruri (Cl^-), bicarbonați (HCO_3^-), electroconductivitate (EC) și totalul de solide dizolvate (TDS). Datorită influenței majore asupra bunăstării biomasei piscicole, în acest rezumat sunt reprezentați grafic doar compușii azotului, respectiv NO_2^- și NH_3 .

5.1.1. Sisteme extensive de creștere în acvacultură

Heleşteu Mălina (S2)

Valorile de NO_2^- și NH_3 se încadrează în ecartul optim conform criteriilor de calitate a apei tehnologice în acvacultură (Figurile 5.1.4. și 5.1.4.) [193].

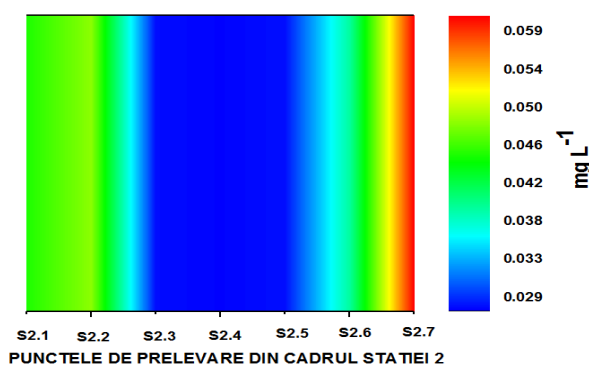


Fig. 5.1.4. Concentrația de NO_2^- în apa prelevată din Stația nr. 2

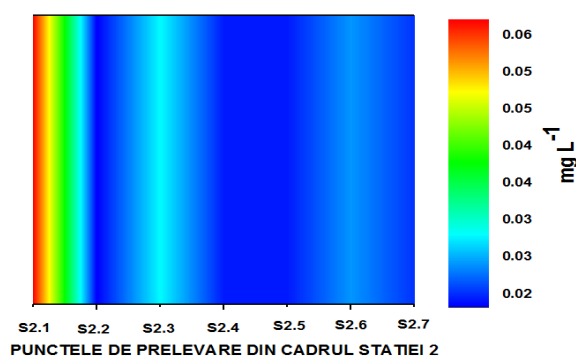


Fig. 5.1.4. Concentrația de NH_3 în apa prelevată din Stația nr. 2

Heleşteu Ghiolul Pietrei (S5)

Valorile înregistrate ale concentrațiilor de NO_2^- și NH_3 s-au încadrat în ecartul optim conform criteriilor de calitate a apei tehnologice în acvacultură (Figurile 5.1.12. și 5.1.13.) [193].

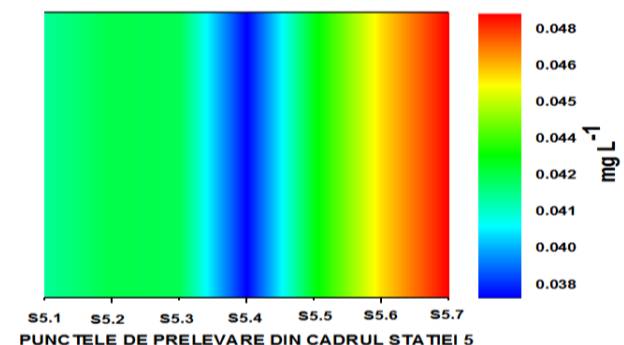


Fig. 5.1.12. Concentrația de NO_2^- în apa prelevată din Stația nr. 5

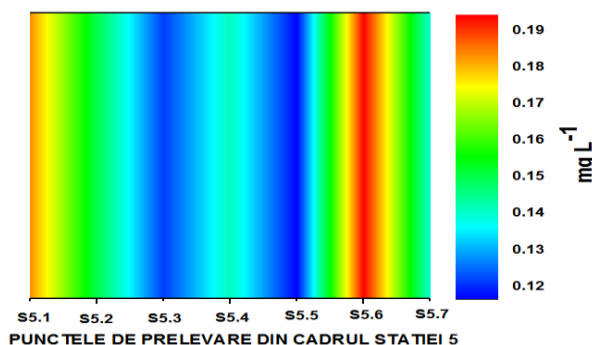


Fig. 5.1.13. Concentrația de NH_3 în apa prelevată din Stația nr. 5

5.1.2. Sisteme intesive de creștere în acvacultură

Valorile înregistrate în cazul concentrațiilor de NO_2^- și NH_3 s-au încadrat în ecartul optim conform criteriilor de calitate a apei tehnologice în acvacultură (Figurile 5.1.20. și 5.1.21.) [193].

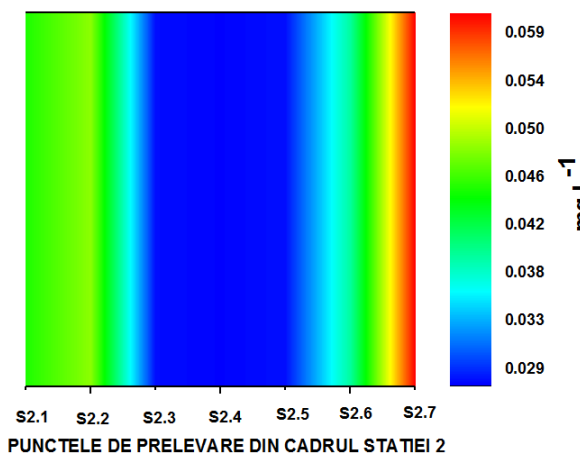


Fig. 5.1.20. Concentrația de NO_2^- în apa prelevată din Stația nr. 1

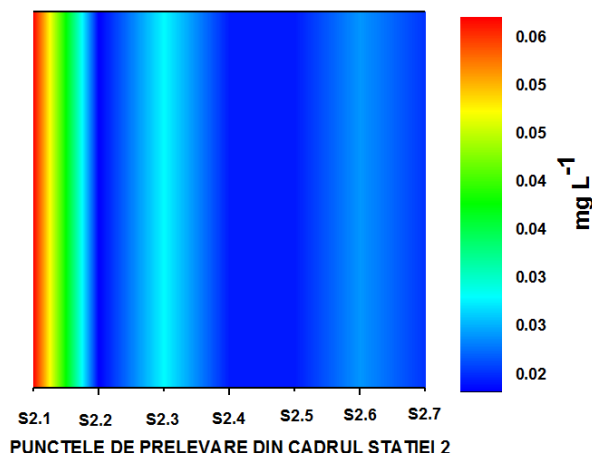


Fig. 5.1.21. Concentrația de NH_3 în apa prelevată din Stația nr. 1

5.2. Particularități ale mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvative antropogene

Metalele, respectiv metalozi determinati de la nivelul apei, sedimentelor și materialului piscicol au fost după cum urmează: Pb, Cd, As, Ni, Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K și Na. Datorită potențialului ridicat de toxicitate, în acest rezumat sunt reprezentate grafic concentrațiile de Cd, respectiv Pb.

5.2.1. Heleșteu Mălina

Concentrația de Pb în apa prelevată din heleșteul Mălina a înregistrat valoarea maximă ($0,434 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S2.2 iar valoarea minimă ($0,286 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S2.4 (Figura 5.2.1.). În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($10,803 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S2.3 iar valoarea minimă ($9,956 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S2.1.

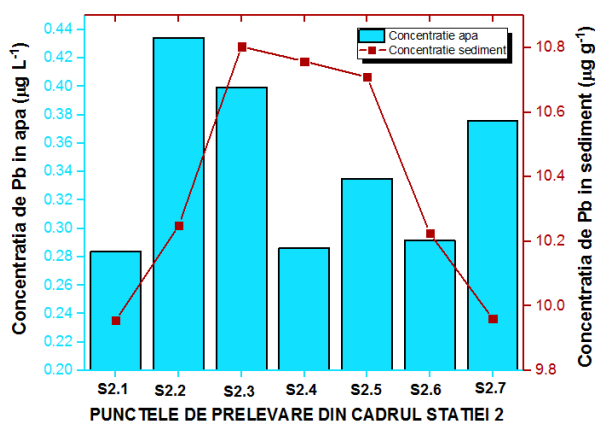


Fig. 5.2.1. Concentrația de Pb în apă și sediment

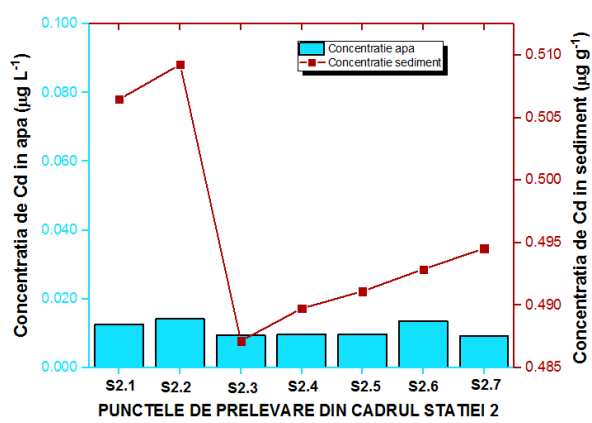


Fig. 5.2.2. Concentrația de Cd în apă și sediment

Concentrația de Cd în apa prelevată din heleșteul Mălina a înregistrat valoarea maximă ($0,014 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S2.2 iar valoarea minimă ($0,0092 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S2.7. (Figura 5.2.2.). În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,509 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S2.2 iar valoarea minimă ($0,487 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S2.3.

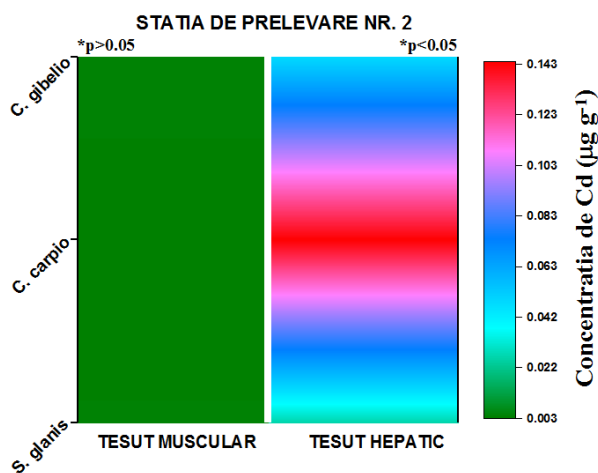


Fig. 5.2.12. Concentrația de Cd în specii diferite de pești

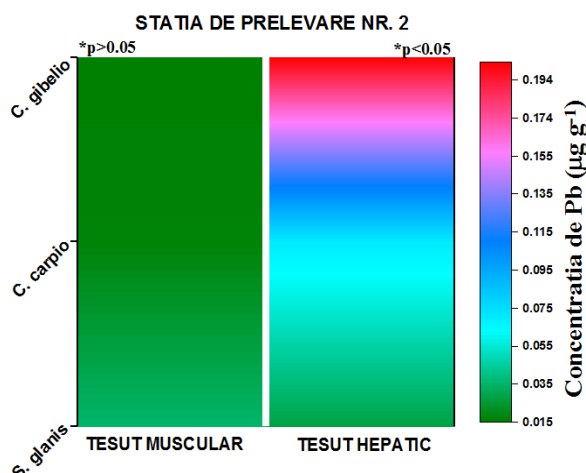


Fig. 5.2.13. Concentrația de Pb în specii diferite de pești

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare la speciile analizate nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 5.2.12.) [90]. Valorile înregistrate în ficat la speciile analizate (somn, crap și caras) au crescut de 7,45, 52,60, respectiv de 13,33 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valorile înregistrate în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 5.2.13.) [90]. Valorile înregistrate în mușchi la *S. glanis* au crescut de 0,27 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în ficat. În cazul lui *C. carpio* și *C. gibelio* valorile înregistrate în ficat au crescut de 3,30, respectiv de 12,84 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

5.2.2. Heleșteu Pietrei

Concentrația de Pb în apa prelevată din heleșteul Pietrei a înregistrat valoarea maximă ($0,759 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S5.2 iar valoarea minimă ($0,655 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S5.1. (Figura 5.2.21.). În ceea ce privește concentrația de Pb în sedimentele recoltate, valoarea maximă ($13,915 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S5.2 iar valoarea minimă ($9,563 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S5.1.

Concentrația de Cd în apa prelevată din heleșteul Pietrei a înregistrat valoarea maximă ($0,0029 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S5.1 iar valoarea minimă ($0,0010 \mu\text{g L}^{-1}$) în punctul S5.2. (Figura 5.2.22.). În ceea ce privește concentrația de Cd în sedimentele analizate, valoarea maximă ($0,779 \mu\text{g g}^{-1}$) s-a înregistrat în punctul S5.3 iar valoarea minimă ($0,640 \mu\text{g g}^{-1}$) în punctul S5.2.

Valorile înregistrate ale concentrației de Cd în țesuturile musculare la speciile analizate nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 5.2.32.) [90]. Valorile înregistrate în mușchiul somnului au crescut de 8,29 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în ficat. În ceea ce privește valorile înregistrate în ficatul crapului și al carasului, acestea au crescut de 1,73, respectiv de 11,17 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesuturile musculare luate în studiu nu depășesc nivelul maxim admis, pentru consumul uman, de către legislația europeană în vigoare (Figura 5.2.33.) [90]. Valorile înregistrate în mușchiul lui *C. carpio* au crescut de 1,89 ori mai mult,

comparativ cu cele înregistrate în ficat. În cazul lui *S. glanis* și *C. gibelio* valorile înregistrate în ficat au crescut de 0,81, respectiv de 11,43 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

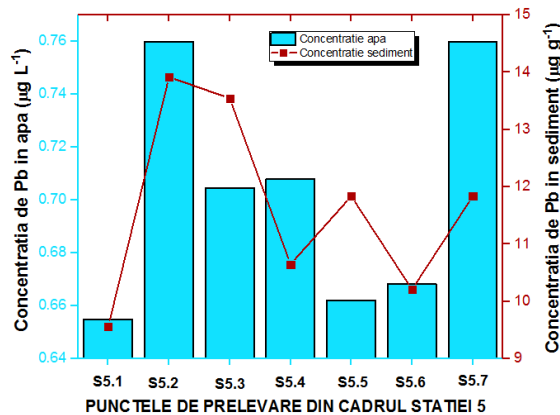


Fig. 5.2.21. Concentrația de Pb în apă și sediment

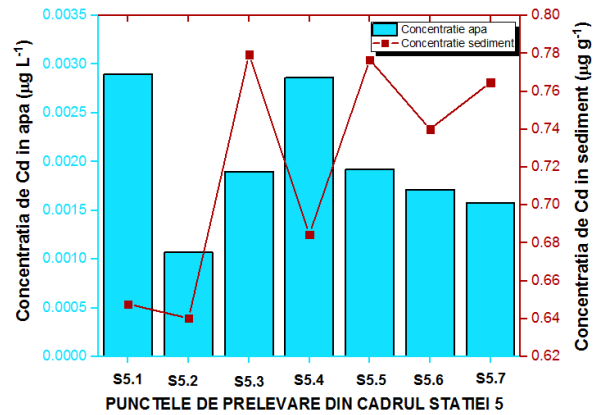


Fig. 5.2.22. Concentrația de Cd în apă și sediment

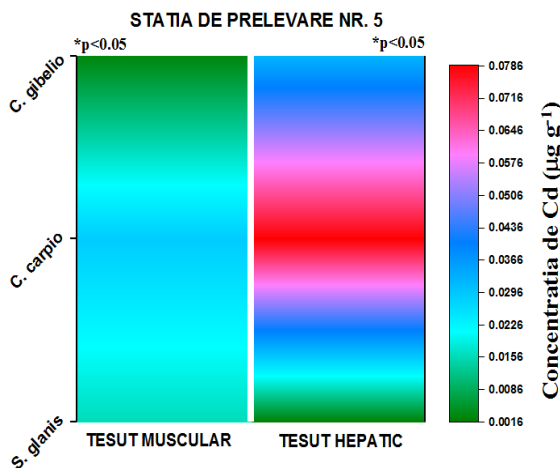


Fig. 5.2.32. Concentrația de Cd în diferite specii de pești

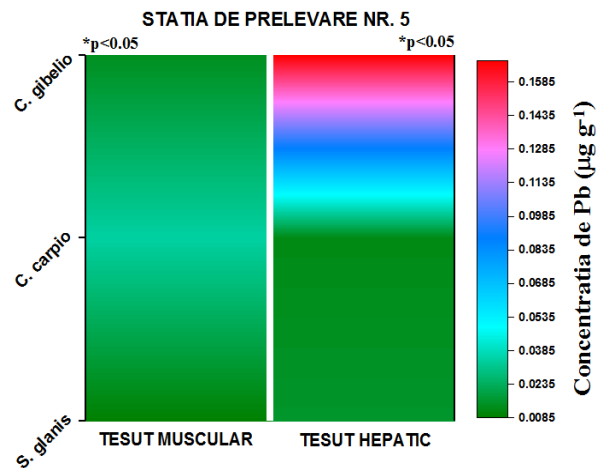


Fig. 5.2.33. Concentrația de Pb în diferite specii de pești

5.2.3. Sistemul recirculant din acvacultură

Concentrația de Pb în apa prelevată din sistemul recirculant MoRas a înregistrat valoarea maximă ($0,4713 \mu\text{g L}^{-1}$) în unitatea de creștere S1.1 iar valoarea minimă ($0,4448 \mu\text{g L}^{-1}$) în unitatea de creștere S1.2. (Figura 5.2.41.).

Concentrația de Cd în apa prelevată din sistemul recirculant MoRas a înregistrat valoarea maximă ($0,0108 \mu\text{g L}^{-1}$) în unitatea de creștere S1.1 iar valoarea minimă ($0,0147 \mu\text{g L}^{-1}$) în unitatea de creștere S1.2. (Figura 5.2.42.).

Valoarea înregistrată a concentrației de Cd în țesutul muscular al nisetului analizat nu depășește nivelul maxim admis, pentru consumul uman, reglementat de către legislația europeană în vigoare (Figura 5.2.51.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul nisetului au crescut de 3,29 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

Valoarea înregistrată a concentrației de Pb în țesutul muscular al nisetului analizat nu depășește nivelul maxim admis, pentru consumul uman, reglementat de către legislația europeană

în vigoare (Figura 5.2.52.) [90]. Valorile înregistrate în ficatul nisetrului au crescut de 12,63 ori mai mult, comparativ cu cele înregistrate în mușchi.

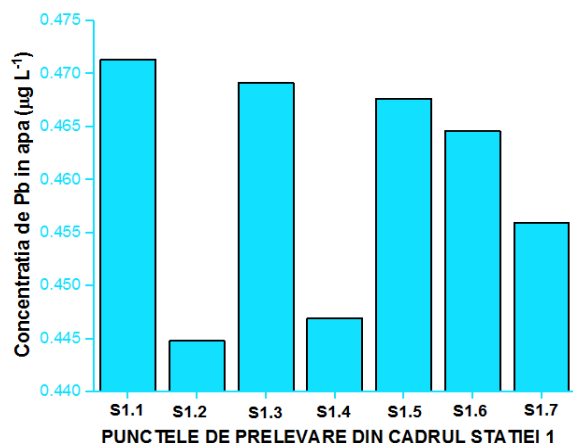


Fig. 5.2.41. Concentrația de Pb în apă

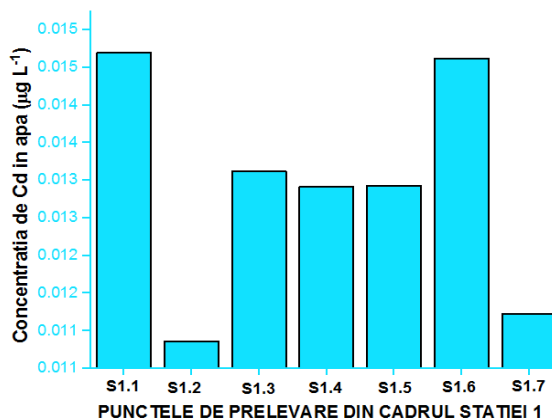


Fig. 5.2.42. Concentrația de Cd în apă

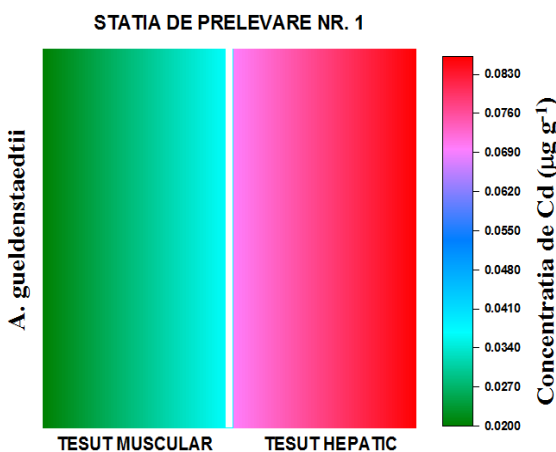


Fig. 5.2.51. Concentrația de Cd în nisetrul

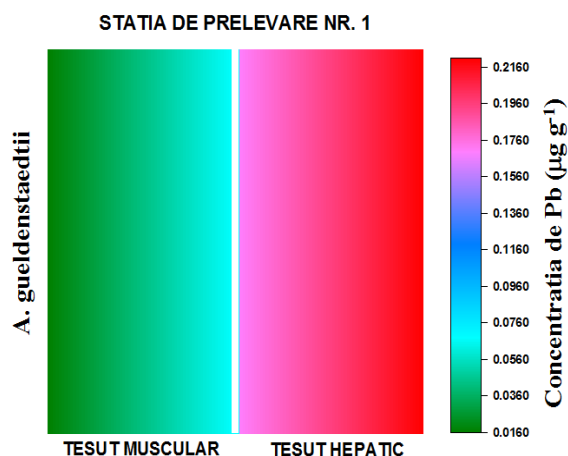


Fig. 5.2.52. Concentrația de Pb în nisetrul

5.3. Evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic pescuit

5.3.1. Heleșteul Mălina

Se remarcă activități enzimice (CAT, SOD, GPx) mai ridicate în cazul speciei *S. glanis*, comparativ cu *C. carpio* și *C. gibelio*.

5.3.2. Heleșteul Pietrei

Se remarcă activități enzimice (CAT, SOD, GPx) mai ridicate în cazul speciei *S. glanis*, comparativ cu *C. carpio* și *C. gibelio*. În cazul indicelui de peroxidare lipidică și glicogenului, s-au remarcat valori mai ridicate la *C. gibelio*, comparativ cu celelalte specii analizate.

5.3.3. Sistemul recirculant de acvacultură

În cazul nisetrului crescut într-un sistem recirculant de acvacultură, s-au remarcat activități enzimice (CAT, SOD, GPx) mai mari în țesutul hepatic, comparativ cu cel muscular. În cazul

indicelui de peroxidare lipidică și glicogenului, s-au înregistrat valori mai ridicate în țesutul muscular al nisetrului, comparativ cu cel hepatic.

CAPITOLUL VI. Studiu comparativ între ecosistemele acvatice analizate

Scopul principal al acestui capitol a fost acela de a realiza un studiu comparativ între ecosistemele acvatice naturale și antropogene și de a evidenția diferențele dintre acestea, în ceea ce privește parametrii fizico-chimici ai apei, prezența diferitelor metale analizate, evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic luat în studiu, indicele de poluare, respectiv consumul zilnic estimat (EDI).

6.1. Studiu comparativ privind parametrii fizico-chimici ai apei și starea ecologică a ecosistemelor acvatice analizate

Conform normei tehnice emise de Guvernul României privind calitatea apelor de suprafață care necesită protecție și ameliorare în scopul susținerii vieții piscicole din 28.02.2002, concentrația de oxigen solvit din apa analizată se încadrează în ecartul recomandat apelor ciprinicole, în toate stațiile de prelevare [85].

Conform HG nr. 202/2002 emisă de Guvernul României, pH-ul apei analizate se încadrează în ecartul recomandat apelor ciprinicole, în toate stațiile de prelevare [85].

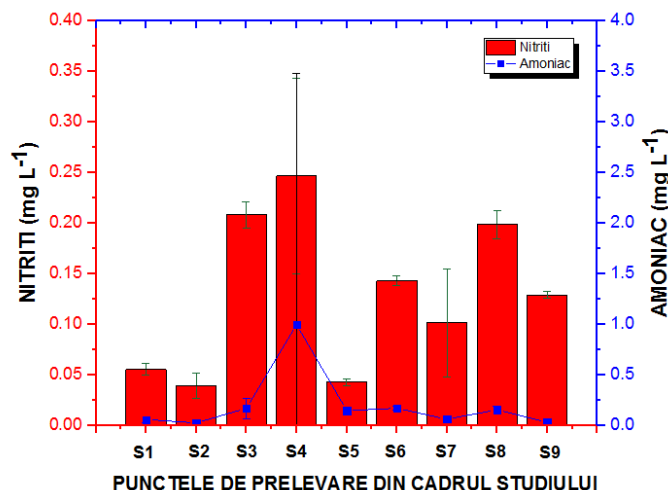


Fig. 6.3. Concentrația de NO_2^- și NH_3 din apă, în stațiile de prelevare

Conform HG nr. 202/2002 emisă de Guvernul României, concentrația de NH_3 depășește valoarea maxim admisă ($\leq 0,025 \text{ mg L}^{-1}$) din lista indicatorilor de calitate a apelor ciprinicole în toate stațiile luate în studiu (Figura 6.3.) [85]. Același fenomen s-a înregistrat și în cazul concentrațiilor de NO_2^- . Se remarcă înregistrarea de concentrații mai reduse de NH_3 , respectiv NO_2^- în ecosistemele antropogene (S1, S3 și S5) comparativ cu ecosistemele naturale (S3, S4, S8, S9).

6.2. Studiu comparativ privind particularitățile mecanismelor de preluare a metalelor grele în ecosistemele acvatice studiate

Conform legislației clasificării apelor de suprafață (Ord. 161/2006), apa analizată din stațiile S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, și S9 se încadrează în **clasa I de calitate** (sub $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$), în ceea ce privește concentrația de Cd [66].

De asemenea, valorile pentru Cd înregistrate în apa prelevată din Marea Neagră (S8 și S9) nu au depășit limitele maxime admisibile din mediul marin, conform Ordinului 1888/2007 ($20 \mu\text{g L}^{-1}$) [89].

Conform legislației clasificării apelor de suprafață (Ord. 161/2006), apa analizată din stațiile S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, și S9 se încadrează în **clasa I de calitate** (sub $5 \mu\text{g L}^{-1}$), în ceea ce privește concentrația de Pb [66].

De asemenea, valorile pentru Pb înregistrate în apa prelevată din Marea Neagră (S8 și S9) nu au depășit limitele maxime admisibile din mediul marin, conform Ordinului 1888/2007 ($20 \mu\text{g L}^{-1}$) [89].

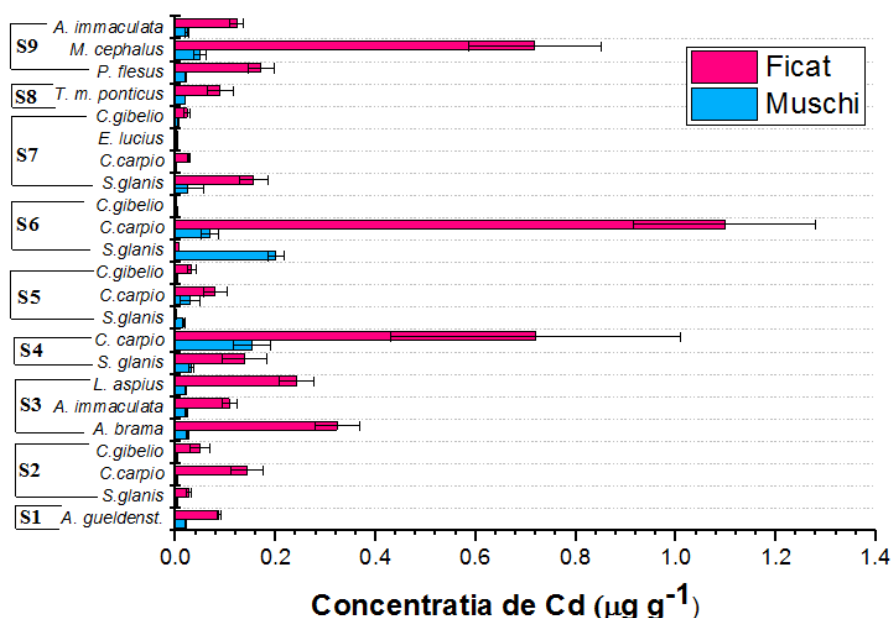


Fig. 6.8. Concentrația de Cd în diferite specii de pești, din stațiile de prelevare

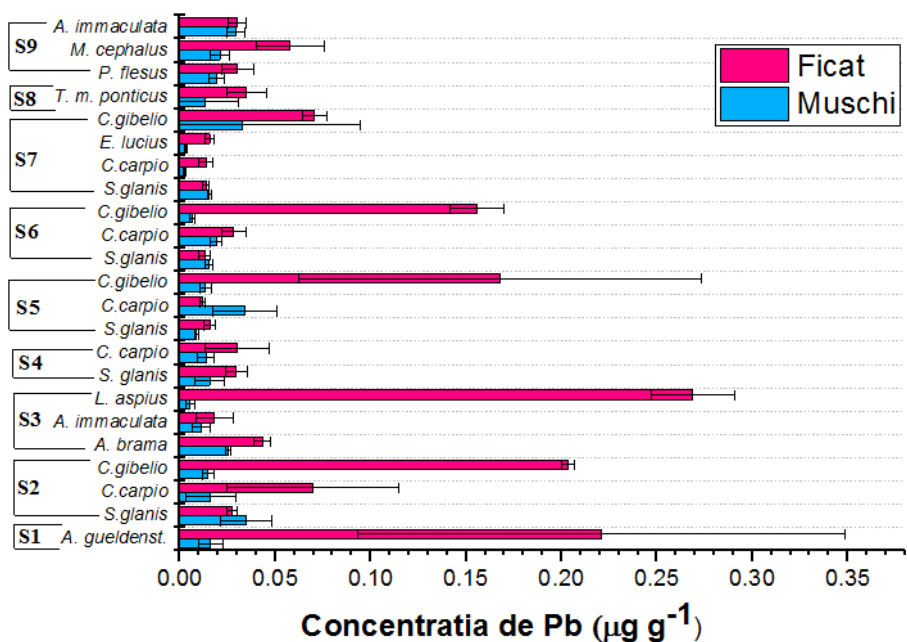


Fig. 6.9. Concentrația de Pb în diferite specii de pești, din stațiile de prelevare

Se remarcă concentrații mai scăzute în cazul speciilor de pești prelevate din ecosistemele acvatice antropogene, comparativ cu cele naturale (Figura 6.8.). Acest fenomen se datorează controlului eficient asupra calității apei în ecosistemele acvatice antropogene și lipsa acestuia în ecosistemele acvatice naturale.

Valorile înregistrate ale concentrației de Pb în țesutul muscular la speciile de pești analizate nu au depășit nivelul maxim admis ($0,3 \mu\text{g g}^{-1}$) de către legislația Europeană (Figura 6.9.) [90].

6.3. Studiu comparativ privind evaluarea indicatorilor de bunăstare a materialului biologic prelevat din ecosistemele acvatice luate în studiu

Dintre toate speciile analizate, se remarcă o intensificare a activității enzimaticice (CAT, SOD, GPx) și a peroxidării lipidice (MDA) la *S. glanis* din S4 și *A. immaculata* din S3. În aceste zone, respectiv S4 și S3, s-au înregistrat, de asemenea, valori ridicate ale unor concentrații de elemente metalice precum Fe și Zn, acestea fiind supuse unei puternice presiuni antropogene. De asemenea, *A. immaculata* prelevată din S3 a înregistrat valori crescute ale concentrației de As în țesutul hepatic. Este bine cunoscut faptul că As este responsabil de generarea stresului oxidativ în interiorul organismului.

De asemenea, se remarcă tendința evidentă a peștilor prelevați din mediul natural de a manifesta un stres oxidativ mai mare, comparativ cu cei produși în acvacultură, fenomen raportat și de către Doherty și colab. (2010) [154].

6.4. Evaluarea statusului ecologic al ecosistemelor acvatice luate în studiu prin metoda calculării Indicelui de Poluare (IP) și determinarea consumului zilnic estimat (EDI)

În contextul prezenței concentrațiilor elementelor metalice Cd, Pb, Ni, Cu și Zn în apa prelevată din ecosistemele acvatice luate în studiu, IP a înregistrat valori < 1 în majoritatea stațiilor de eșantionare, cu excepția zincului în S3, înregistrând o valoare a lui IP < 5 . Drept urmare, se poate concluziona că prezența elementelor Cd, Pb, Ni, Cu și Zn în corpurile de apă eșantionate nu are efect negativ asupra ecosistemelor acvatice în care se regăsesc.

În ceea ce privește valoarea IP, în cazul zincului (< 5) în stația de prelevare S3 și anume fluviul Dunărea - Port Galați, aceasta indică existența unui mediu acvatic puternic afectat de prezența metalului în cauză (Tabelul nr. 36).

Tabelul nr. 36. Interpretarea indicelui de poluare a apei prelevate din stațiile luate în studiu

Stație de prelevare	INDICELE DE POLUARE (IP)					
	Cd	Pb	Ni	Cu	Fe	Zn
S1	<1	<1	<1	<1	ND	<1
S2	<1	<1	<1	<1	>5	<1
S3	<1	<1	<1	<1	>5	<5
S4	<1	<1	<1	<1	>5	<1
S5	<1	<1	<1	<1	>5	ND
S6	<1	<1	<1	<1	>5	<1
S7	<1	<1	<1	<1	>5	<1
S8	<1	<1	<1	<1	>5	<1
S9	<1	<1	<1	<1	>5	<1

Valoarea IP înregistrată pentru concentrația de Fe în coloana de apă, la nivelul tuturor stațiilor eșantionate, a evidențiat ecosisteme acvatice serios afectate de prezența acestui element.

Valorile înregistrate ale EDI pentru diferite specii de pești provenite din capturi au fost mai mici decât valorile maxime recomandate de Organizația Mondială a Sănătății (WHO) și de către Organizația pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite [247] [248] [249]. În ceea ce privește valorile EDI înregistrate pentru diferitele specii de pești produse în amenajările sistematice și în sisteme de producție intensive, acestea au fost de asemenea mai mici decât valorile recomandate de Organizația Mondială a Sănătății (WHO) și de către Organizația pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite [247] [248] [249].

În urma analizei statistice de varianță, s-a constatat faptul că diferențele între valorile EDI pentru peștii proveniți din capturi și cei produși în acvacultură au fost nesemnificative ($p < 0,05$). De asemenea, valorile semnificativ mai mici înregistrate ale EDI, comparativ cu cele recomandate de WHO și FAO, pentru speciile de pești analizate se pot datora consumului de pește redus consemnat în România (7 kg per capita), comparativ cu consumul mediu de pește la nivel european (24,33 kg per capita) [175] [254].

În urma analizei datelor obținute pentru EDI, se poate concluziona că ingestia de elemente esențiale (Zn, Cu) și elemente cu potențial toxic (Cd, Pb, As) prin consumul de pește nu reprezintă un risc asupra consumatorului uman sau efecte adverse asupra sănătății umane.

CAPITOLUL VII. Analiza de corelație și machine learning

Pentru realizarea analizelor de corelație și predicție, datele înregistrate au fost sortate și grupate, ținându-se cont de factori determinanți în procesul de acumulare a metalelor și metaloizilor la nivelul apei, sedimentelor și biomasei animale. Astfel, datele au fost prelucrate în scopul folosirii lor în cadrul analizelor de corelație, eliminându-se valorile extreme.

7.1. Analiza de corelație între metalele, respectiv metaloizii de la nivelul apei, sedimentelor și biomasei animale

Analizele de corelație s-au efectuat astfel:

- Corelația între metalele și metaloizii din țesutul muscular, țesutul hepatic, precum și țesutul muscular vs țesutul hepatic la speciile de pești cu regim de hrană ihtiofag, respectiv non-ihthiofag, la speciile dulcicole, respectiv la cele marine, precum și la speciile din mediul natural, respectiv antropogen;
- Corelația dintre metale și metaloizi de la nivelul apei din ecosistemele acvatice studiate (dulcicole, naturale și antropogene);
- Corelația dintre metale și metaloizi de la nivelul sedimentelor din ecosistemele acvatice studiate (dulcicole, naturale și antropogene);
- Corelația dintre metalele și metaloizii de la nivelul apei și al sedimentelor din ecosistemele acvatice studiate (dulcicole, naturale și antropogene);
- Corelația dintre metalele și metaloizii de la nivelul apei și biomasei animale din ecosistemele acvatice studiate (dulcicole, naturale și antropogene).

Corelațiile pozitive cele mai puternice între metalele, respectiv metaloizii analizați **din masa apei și sedimentele aferente mediului antropogen** au fost după cum urmează: $Cu_{ap\grave{a}}$ și $Zn_{sediment}$ ($p=0,9$), $Ca_{ap\grave{a}}$ și $Zn_{sediment}$ ($p=0,8$), $As_{ap\grave{a}}$ și $Zn_{sediment}$ ($p=0,9$), $Fe_{ap\grave{a}}$ și $As_{sediment}$ ($p=0,7$), $C_{ap\grave{a}}$ și $Cd_{sediment}$ ($p=0,7$) (Figura 8.5.). În ceea ce privește corelațiile negative, cele mai puernice s-au remarcat în

următoarele cazuri: $Cd_{ap\grave{a}}$ și $Cd_{sediment}$ ($p= -0,9$), $Zn_{ap\grave{a}}$ și $Zn_{sediment}$ ($p= -0,8$), $Zn_{ap\grave{a}}$ și $Cd_{sediment}$ ($p= -0,9$), $Fe_{ap\grave{a}}$ și $Cd_{sediment}$ ($p= -0,9$) (Figura 8.1.5.).

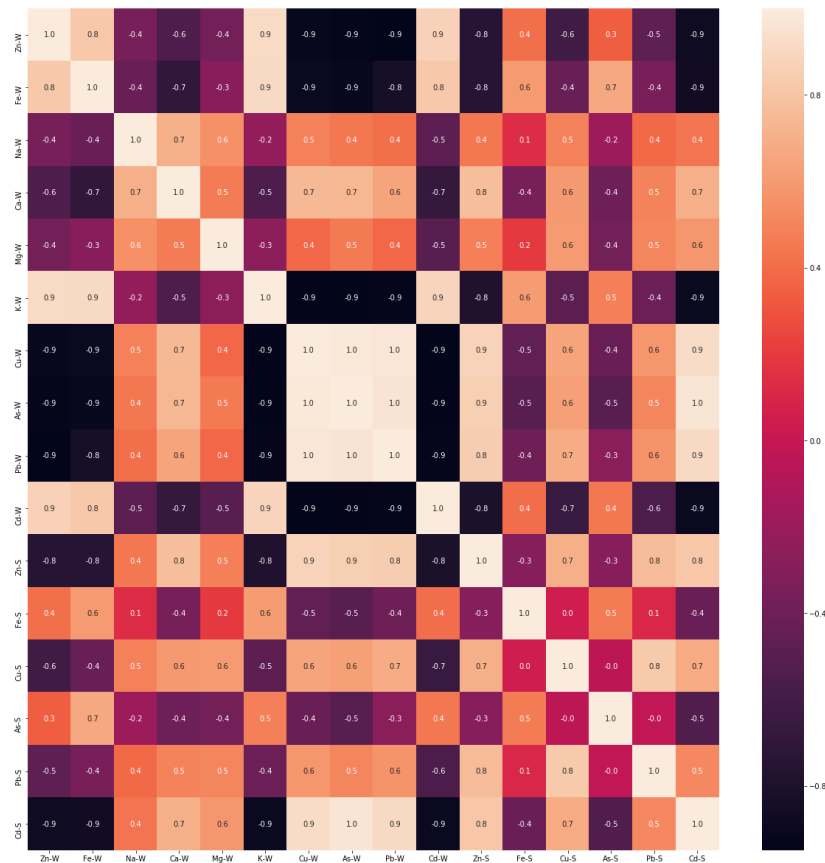


Fig. 8.1.5. Corelații între metale și metaloizi din apa și sedimentele aferente mediului antropogen

7.2. Analiza de predicție între metalele, respectiv metaloizii de la nivelul biomasei animale

Din analiza RMSE s-au observat cele mai bune predicții după cum urmează:

1. În cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
2. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
3. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
4. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
5. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția macro-elementelor Na, Mg, Ca, K din mușchi pe baza macro-elementelor din ficat;

6. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei piscicole prelevată din mediul natural, predicția macro-elementelor Na, Mg, Ca, K din mușchi pe baza macro-elementelor din ficat;

7. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei piscicole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Fe, Cu și Pb din mușchi pe baza micro-elementelor din ficat;

8. în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei piscicole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Fe, Cu și Pb din mușchi pe baza micro-elementelor din ficat (Exemplu Fig. 8.2.36.).

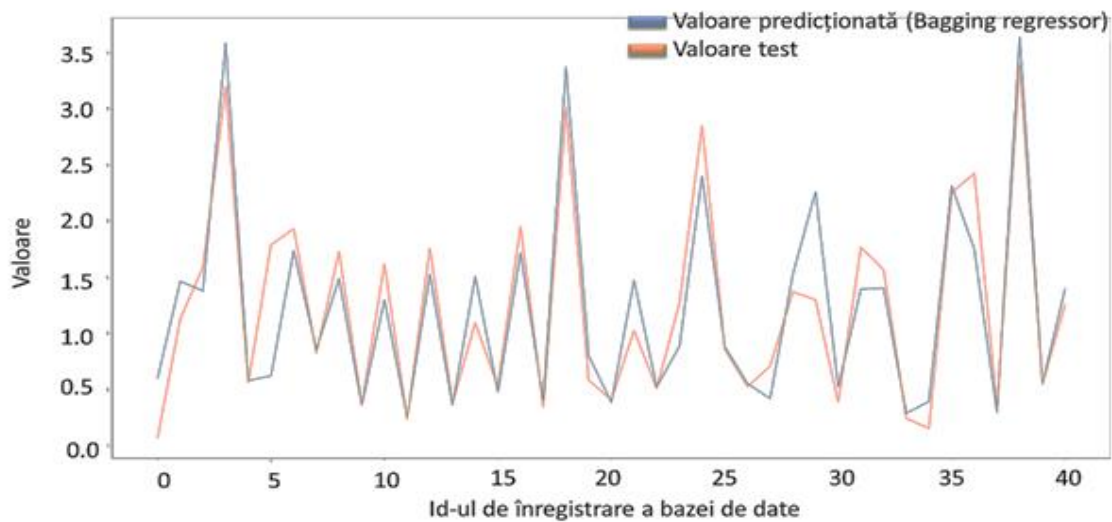


Fig. 8.2.36. Analiza de predicție a concentrației de Cu în țesutul muscular și hepatic al peștilor prelevați din mediul natural

CAPITOLUL VIII. Concluzii finale, contribuții personale, direcții ulterioare de cercetare

Concluzii finale

Rezultatele obținute în cadrul acestui studiu și descrise în prezenta teză de doctorat conduc la o serie de concluzii relevante. Drept urmare, sintetizarea și corelarea rezultatelor conduc la o analiză detaliată în ceea ce privește următoarele aspecte:

- 👤 Evaluarea calității apei din cadrul ecosistemelor acvatice naturale și antropogene studiate, din punct de vedere al parametrilor fizico-chimici, respectiv a concentrației metalelor grele cu potențial ridicat de toxicitate;
- 👤 Încadrarea corpurilor de apă din cadrul ecosistemelor acvatice studiate în clase de calitate și determinarea indicelui de poluare al acestora;
- 👤 Caracterizarea sedimentelor de la nivelul ecosistemelor acvatice studiate din punct de vedere al concentrației diferitelor metale, respectiv al carbonului organic și azotului total;
- 👤 Evaluarea gradului de acumulare al metalelor grele în organismul diferitelor specii de pești autohtone, din ecosistemele acvatice naturale și antropogene;

Din analiza rezultatelor experimentale privind aspectele menționate, se desprind următoarele concluzii generale:

- ✓ În apa prelevată din toate stațiile de eșantionare, **concentrația de oxigen dizolvat** ($5,71-10 \text{ mg L}^{-1}$) și **pH-ul** (7,6-8,8) s-au încadrat în ecartul optim recomandat pentru apele ciprinicole, atât în ecosistemele acvatice naturale cât și antropogene.
- ✓ **Salinitatea** apelor analizate s-a încadrat în limitele normale pentru apele dulcicole (0,2-0,8 PSU) analizate, iar în cazul apei Mării Negre (4,5 PSU), s-au consemnat valori mai reduse decât cele corespunzătoare mediului marin, aceasta datorită bilanțului hidric pozitiv specific zonei de Nord-Vest a Mării Negre, ce se manifestă printr-o tendință de scădere a salinității cu $0,02 \text{ PSU an}^{-1}$.
- ✓ Concluziile relevante ce se desprind din analiza rezultatelor experimentale referitoare la **compușii azotului** evidențiază următoarele aspecte:
 - concentrațiile de NO_2^- și NH_3 au indicat valori inferioare în ecosistemele acvatice antropogene, comparativ cu cele înregistrate în ecosistemele naturale luate în studiu;
 - în raport cu reglementările naționale (HG nr. 202/2002), concentrațiile pentru compușii azotului analizați din coloana de apă a diferitelor ecosisteme acvatice din cadrul acestui studiu au depășit valorile recomandate ca optime pentru apele ciprinicole ($\leq 0,03 \text{ mg L}^{-1}$ pentru NO_2^- și $\leq 0,025 \text{ mg L}^{-1}$ pentru NH_3) în toate stațiile de eșantionare; acest fenomen exprimă un control inefficient al calității apei efluenților rezultați din diferite activități antropogene și deversați în mediul natural;
 - în raport cu unele norme de calitate a apei în acvacultură întâlnite în literatura de specialitate (Timmons și colab., 2018), concentrațiile pentru compușii azotului analizați din coloana de apă a diferitelor ecosisteme acvatice s-au încadrat în ecartul recomandat, aspect ce evidențiază caracterul mai restrictiv al normativului național în comparație cu cele internaționale;
 - s-a remarcat o presiune antropogenă mai intens exercitată asupra stației nr. 4 (Dunăre Port Tulcea), comparativ cu celelalte din prisma concentrației compușilor azotului la nivelul apei.
- ✓ Prezența **metalelor și metaloizilor** la nivelul coloanei de apă evidențiază următoarele:
 - apartenența corpurilor de apă din cadrul ecosistemelor acvatice la Clasa I de calitate, din perspectiva conținutului de metale (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb) și metaloizi (As) cu potențial toxic;
 - apartenența corpurilor de apă din cadrul ecosistemelor acvatice la Clasa V de calitate, în ceea ce privește conținutul de Fe; Fe reprezintă singurul metal cu potențial toxic a cărui concentrație ridicată s-a consemnat în cadrul tuturor stațiilor de eșantionare, cu excepția lui S1 (sistemul recirculant de acvacultură);
 - în stațiile de prelevare aferente ecosistemelor acvatice antropogene s-a remarcat o tendință mai mică de acumulare a anumitor metale, precum: Zn, Fe, Cu, Cd și Ca, comparativ cu stațiile aferente ecosistemelor acvatice naturale. Cu toate acestea, excepție a făcut stația S1 (sistemul recirculant de acvacultură) în care se înregistrează cel mai ridicat grad de acumulare de Zn; o posibilă explicație a acestui fenomen ar fi reprezentată de administrarea de furaje cu un conținut semnificativ în acest element. Același fenomen, de acumulare crescută a unui metaloid într-un ecosistem acvatic natural, se înregistrează la stația S5 (heleșteul Pietrei): în acest caz, apreciem că fenomenul de acumulare ridicată a arsenului poate fi explicat prin antrenarea în masa apei a acestui metaloid, prezent în substanțele agro-chimice administrate pe suprafața solurilor agricole din vecinătatea heleșteului;
 - o concluzie specială privind prezența metalelor și metaloizilor în ecosistemele acvatice naturale studiate se referă la stația S8 (Marea Neagră Sf. Gheorghe) la nivelul căreia s-a evidențiat cel mai înalt grad de acumulare a Fe, Cu, Ni și Pb, în raport cu celelalte

- ecosisteme acvatice naturale; acest fenomen se poate datora concentrațiilor ridicate de carbon organic prezent în sedimentele din stația S8, cunoscut fiind faptul că acest element, carbonul, are tendința de a lega diferitele metale iar în urma procesului de re-suspensie acestea sunt antrenate în masa apei;
- cu toate acestea, în conformitate cu legislația națională (HG nr. 1888/2007), concentrațiile anumitor metale (Cd, Pb, Ni, Zn, Cu), respectiv al unor metaloizi (As) înregistrate la stațiile S8 (Marea Neagră Sf. Gheorghe), respectiv S9 (Marea Neagră Perișor) se situează sub limita maxim admisibilă;
 - un caz particular privind prezența unor metale și metaloizi în ecosistemele acvatice naturale studiate este reprezentat de stația S9 (Marea Neagră Perișor) unde se înregistrează cele mai scăzute concentrații de As și Pb, în comparație cu celelalte ecosisteme unde se remarcă o tendință evidentă de acumulare a acestor elemente;
 - trendul de acumulare al metalelor a fost identificat după cum urmează: Ca>Na>K>Mg>Fe>Zn>Ni>Cu>As>Pb>Cd.
- ✓ La nivelul sedimentelor, interpretarea rezultatelor referitoare la conținutul de **metale și metaloizi**, precum și a **carbonului organic** și **azotului total**, conduce spre trasarea următoarelor concluzii:
- sedimentele prelevate din stațiile aferente mediului marin, respectiv S8 (Marea Neagră Sf. Gheorghe) și S9 (Marea Neagră Perișor), nu au înregistrat valori peste limita maxim admisă de către legislația națională (HG nr. 1888/2007), în cazul concentrațiilor de Cd, Pb, Ni, Zn, Cu și As; fenomenul este explicabil prin dimensiunea redusă a presiunii antropogene exercitate asupra mediului;
 - din aceleași considerente, în stația S9 (Marea Neagră Perișor) s-au înregistrat cele mai scăzute valori ale concentrațiilor de Zn, Cu, Pb și Cd;
 - trendul de acumulare al metalelor a fost identificat după cum urmează: Ni>Cu>Fe>Pb>As>Cd>Zn.
 - carbonul organic și azotul total au înregistrat cele mai ridicate valori în stația S8 (Marea Neagră Sf. Gheorghe), iar cele mai mici în stația S9 (Marea Neagră Perișor).
- ✓ Concluziile cele mai relevante privind acumularea de **metale și metaloizi** în organismul speciilor de pești studiate constau în următoarele:
- potențialul cel mai ridicat de bioacumulare în țesutul muscular al metalelor cu potențial toxic, precum Cd, Pb, Cu și Fe, s-a manifestat la speciile *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), urmat de *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758);
 - nivelul concentrației de Cd în țesutul muscular a depășit limita maxim admisă de către legislația europeană ($0,05 \mu\text{g g}^{-1}$), consemnând valori de 4 ori mai mari în cazul speciei *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) și de 3 ori mai mari în cazul speciei *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758); speciile menționate au fost prelevate din ecosisteme acvatice naturale;
 - s-au evidențiat valori mai reduse ale concentrației de Cd în țesutul muscular al speciilor de pești de cultură, comparativ cu cele din ecosistemele acvatice naturale;
 - în ceea ce privește concentrația de Pb din țesutul muscular al speciilor de pești analizate s-a constatat faptul că valoarea acesteia nu a depășit nivelul maxim admis de către legislația europeană ($0,3 \mu\text{g g}^{-1}$); de asemenea, s-a concluzionat faptul că proveniența plumbului în organismul peștilor este predominant din hrană, acest metal greu găsindu-se în concentrații foarte scăzute în apă;
 - bioacumularea de As în organismul speciei *Alosa immaculata* (Bennett, 1835), este un proces care s-a realizat, în opinia noastră, în mod atipic, în sensul că As suferă o posibilă translocare din mușchi în ficat, pe durata migrației reproductive;

- s-a remarcat tendința speciilor răpitoare (știucă și avat) de a acumula concentrații mai ridicate de Ca, comparativ cu speciile pașnice, datorită implicării acestui element în stimularea contracției musculare;
- speciile marine de pești (cambulă, scrumbie, chefal, calcan, stavrid) au avut o tendință mai mare de a acumula în țesutul muscular As, comparativ cu cele dulcicole, care au înregistrat valori sub limita de detecție;
- referitor la bioacumularea diferitelor metale în organismul calcanului, se remarcă faptul că indiferente de sex, atât la masculi cât și la female, concentrația acestora este sensibil egală;
- trendul de acumulare al concentrațiilor de metale în țesutul muscular al speciilor de pești de cultură se prezintă astfel:
 - nisetru: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>As>Cd>Pb;
 - somn: K>Na>Mg>Ca>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - crap: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - caras: K>Ca>Na>Mg>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
- trendul de acumulare al concentrațiilor metale în țesutul muscular al speciilor de pești capturate din ecosistemele acvatice naturale este:
 - calcan: K>Na>Mg>Ca>Fe>Zn>As>Mn>Cu>Ni>Cd;
 - somn: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Cd>Pb>As;
 - crap: K>Na>Ca>Mg>Zn>Fe>Cu>Cd>Pb>As;
 - caras: K>Na>Ca>Mg>Zn>Fe>Cu>Pb>Cd>As;
 - știucă: K>Ca>Na>Mg>Zn>Fe>Cu>Pb>Cd>As;
 - plătică: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - avat: K>Ca>Na>Mg>Zn>Fe>Cu>Cd>Pb>As;
 - scrumbie: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>As>Cu>Pb>Cd;
 - chefal: K>Na>Mg>Ca>Fe>Zn>Cu>As>Cd>Pb;
 - cambulă și stavrid: K>Na>Mg>Ca>Fe>Zn>As>Cu>Cd>Pb;
- analiza trendului de acumulare al metalelor din țesutul muscular al speciilor de pești relevă faptul că macro-elementul potasiu este cel mai abundent, în timp ce, la polul opus se situează, îndeosebi, As, dar și Pb și Cd, acestea fiind, ca atare, considerate urme de metale;
- trendul de acumulare al metalelor în țesutul hepatic al speciilor de pești de cultură consemnează următoarele:
 - nisetru: K>Na>Fe>Mg>Ca>Zn>Cu>As>Pb>Cd;
 - somn: K>Na>Fe>Mg>Ca>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - crap: K>Na>Fe>Ca>Mg>Zn>Cu>Cd>Pb>As;
 - caras: K>Mg>Ca>Fe>Na>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
- trendul de acumulare al metalelor în țesutul hepatic al capturilor de pești, a fost după cum urmează:
 - calcan: K>Na>Mg>Ca>Fe>Zn>As>Cu>Mn>Ni>Cd;
 - somn: K>Na>Fe>Mg>Ca>Zn>Cu>Cd>Pb>As;
 - crap: K>Na>Fe>Ca>Mg>Zn>Cu>Cd>Pb>As;
 - caras: K>Ca>Fe>Na>Mg>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - plătică: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Cd>Pb>As;
 - scrumbie: K>Na>Fe>Ca>Mg>Zn>Cu>As>Cd>Pb;
 - avat: K>Mg>Na>Ca>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - știucă: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>As;
 - stavrid: K>Na>Ca>Mg>Fe>Zn>Cu>As>Cd>Pb;
 - cambulă: K>Na>Fe>Ca>Mg>Zn>Cu>As>Cd>Pb;

- chefal: K>Na>Fe>Mg>Ca>Cu>Zn>As>Cd>Pb;
- trendul de acumulare al metalelor din țesutul hepatic al speciilor de pești reliefează faptul că macro-elementul potasiu este cel mai abundent, în timp ce, la polul opus se situează, îndeosebi, As, dar și Pb, acesta fiind, ca atare, considerat metal greu.
- metalele analizate în cadrul acestui studiu au înregistrat diferențe semnificative ($p > 0,05$) în bioacumularea în țesuturile musculare și hepatice ale diferitelor specii de pești, se poate concluziona că bioacumularea se realizează în mod diferit, atât interspecific cât și intraspecific.
- ✓ Concluziile principale desprinse din analiza **stresului oxidativ**, apreciat prin indicatorii biochimici determinați la nivelul țesutului muscular și hepatic al speciilor de pești analizate constau în următoarele:
 - Majoritatea indicatorilor biochimici în baza cărora s-a evaluat stresul oxidativ (SOD; GPx, MDA și glicogenul) nu au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între țesutul muscular și a cel hepatic, atât la speciile de cultură cât și la cele sălbatice, cu o singură excepție, anume catalaza, care a înregistrat valori mai ridicate în ficat; drept urmare, se poate concluziona faptul că stresul oxidativ s-a manifestat în aceeași proporție, atât în mușchi cât și în ficat;
 - între speciile capturate din mediul natural, somnul (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758) și scrumbia (*Alosa immaculata* Bennett, 1835) au înregistrat cele mai ridicate valori ale indicatorilor biochimici ce exprimă nivelul stresului oxidativ, respectiv al activității enzimatice specifice acestui proces;
 - nivelul stresului oxidativ, apreciat prin indicatorii biochimice menționați, este superior la speciile de pești provenite din ecosistemele acvatice naturale comparativ cu speciile de cultură.
- ✓ Calcularea **indicelui de poluare** a condus la conturarea următoarelor concluzii:
 - prezența metalelor Cd, Pb, Ni, Cu, și Zn, nu au avut nici un efect asupra ecosistemelor acvatice în care s-au regăsit, în toate stațiile luate în studiu, cu excepția stației S3 (Dunăre Port Galați), care s-a dovedit a fi serios afectată de prezența elementului Zn.
 - în ceea ce privește prezența fierului în ecosistemele acvatice luate în studiu și în urma calculării indicelui de poluare, s-au evidențiat ecosisteme acvatice serios afectate de prezența acestui metal, în toate stațiile luate în studiu.
- ✓ În urma analizei datelor obținute pentru **consumul zilnic estimat**, se poate concluziona că ingestia de elemente esențiale (Zn, Cu) și elemente cu potențial toxic (Cd, Pb, As) prin consumul de pește nu reprezintă un risc asupra consumatorului uman din România sau efecte adverse asupra sănătății umane. De asemenea, diferențele între valorile pentru consumul zilnic estimat în cazul peștilor proveniți din capturi și cei produși în acvacultură au fost nesemnificative.
- ✓ **Analiza statistică de corelație** a condus la desprinderea următoarelor concluzii:
 - la nivelul apei, s-au înregistrat corelații pozitive, atât între micro-elemente (Fe și Cu, Pb și Fe, Cd și Pb, Fe și Cd), cât și între macro-elemente (Na și Mg, Mg și K, Na și K). Acest rezultat poate indica sursa comună a metalelor din masa apei, cât și prezența acestora în aceeași stare de oxidare;
 - la nivelul sedimentelor, s-au înregistrat corelații pozitive între micro-elementele cu potențial toxic (Pb și Cu, Cu și Zn, Cd și Zn, Cd și Pb, Cd și Cu);
 - la nivelul apei și sedimentelor, s-au înregistrat corelații negative între micro-elemente cu potențial toxic ($Cd_{apă}$ și $Cd_{sediment}$, $Zn_{apă}$ și $Zn_{sediment}$), precum și între macro-elementele din apă și micro-elemente cu potențial toxic din sedimente (Cd și K, Mg, Ca, respectiv Na, Pb și K, Mg, Ca, respectiv Na, Cu și Ca, respectiv Na);

- la nivelul țesutului muscular al peștilor marini, analiza de corelație a reliefat faptul că mecanismul de acumulare de Cd este asociat cu acumularea metalelor esențiale precum Cu, Fe și Zn;
- la nivelul apei și al țesutului hepatic peștilor prelevați din mediul natural, s-a remarcat tendința macro-elementelor din apă (K, Mg și Na) de a înregistra corelații pozitive cu Fe din ficat. De asemenea, Fe din apă și Fe din ficat a înregistrat o corelație puternic negativă, rezultat ce confirmă existența poluării apei cu metalul Fe;
- la nivelul țesutului muscular și hepatic al peștilor cu regim de hrană non-ihtiofag, s-au înregistrat corelații pozitive între $Cd_{\text{mușchi}}$ și Cd_{ficat} , precum $Zn_{\text{mușchi}}$ și Zn_{ficat} ;
- la nivelul țesutului muscular și al sedimentelor, s-au înregistrat corelații pozitive între Cu din sedimente și Cu din ficat, la specia *Carassius gibelio* (Bloch, 1782).
- ✓ În urma **analizei de predicție**, s-au conturat următoarele concluzii relevante:
 - cele mai bune predicții s-au înregistrat în următoarele cazuri:
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Cu, Fe, Pb în funcție de macro-elementele Na, Mg, Ca, K;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția macro-elementelor Na, Mg, Ca, K din mușchi pe baza macro-elementelor din ficat;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția macro-elementelor Na, Mg, Ca, K;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul dulcicol, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Fe, Cu și Pb din mușchi pe baza micro-elementelor din ficat;
 - în cazul bazei de date reprezentată de valorile metalelor din țesutul hepatic și muscular al biomasei pisciole prelevată din mediul natural, predicția micro-elementelor Cd, Zn, Fe, Cu și Pb din mușchi pe baza micro-elementelor din ficat.
 - Modelul elaborat contribuie la extinderea bazelor de date deja existente și, de asemenea, la eficientizarea studiilor ce implică monitorizarea mediului acvatic în vederea evaluării stării ecologice a acestuia, precum și a studiilor ce au drept obiectiv evaluarea siguranței alimentare, implicit a riscului asupra sănătății umane asociat cu ingerarea de metale grele în urma consumului de pește;
 - Alegerea macro-elementelor drept variabile independente în realizarea studiului de predicție a micro-elementelor a avut un raționament practic și, în același timp, economic, întrucât analiza de determinare a variabilelor dependente (micro-elemente) implică un cost de analiză mai ridicat și dezvoltarea de protocoale de lucru mai complexe;

- Aceste predicții oferă posibilitatea dezvoltării unor modele matematice mult mai complexe, bazate pe multiple variabile dependente/independente și volum de date mult mai ridicat.

Contribuții personale și recomandări

Calitatea apelor de suprafață reprezintă una din principalele provocări societale ale secolului XXI iar degradarea acestora reprezintă o amenințare la adresa sănătății umane, un factor limitativ al producției alimentare, reducând funcțiile ecosistemelor și împiedicând creșterea economică. Degradarea calității apei se transpune direct în probleme legate de mediu, sociale și economice. Disponibilitatea resurselor de apă este puternic afectată de poluarea ecosistemelor acvatice dulcicole, cauzată de evacuarea efluenților de apă menajeră insuficient tratată sau netratată în râuri, lacuri și ape costiere. Adicional, poluanți nou-emergenți proveniți din produse de îngrijire personală, farmaceutice, pesticide, substanțe utilizate în gospodăria sau în industrie, și sub influența schimbărilor climatice reprezintă o nouă provocare din prisma calității apei, cu un impact necunoscut, pe termen lung, asupra sănătății umane și ecosistemelor.

Ca atare, în contextul celor menționate mai sus, monitorizarea continuă a ecosistemelor acvatice naturale și antropogene reprezintă o necesitate imperativă, în vederea colectării de date necesare întocmirii unui tablou holistic privind calitatea acestora, precum și oportunitatea de intervenție rapidă și aplicarea unui management de control eficient în cazurile care solicită acest lucru.

La nivel național, lucrarea de față reprezintă o noutate în ceea ce privește:

- ✓ *prezența macro- și micro-elementelor, unele dintre acestea având potențial toxic, în biotul Dunăre-Delta Dunării-Marea Neagră.*
- ✓ *analiza multistratificată privind bioacumularea elementelor metalice cu potențial toxic și non-toxic, la nivelul ecosistemelor acvatice din România.*
- ✓ *studiul comparativ privind calitatea ecosistemelor acvatice naturale vs antropogene din România.*
- ✓ *studiul comparativ privind calitatea capturilor vs producțiilor de pește din România.*
- ✓ *impactul consumului de pești autohtoni asupra consumatorilor din România.*
- ✓ *stabilirea unor modele matematice de tip predicții folosind tehnica "machine learning".*
- ✓ *creerea unor baze de date ce vor fi utilizate drept referință în viitoare studii de profil, oferind astfel posibilitatea reală de identificare multistratificată a trendurilor de acumulare a elementelor metalice.*

La nivel mondial, gradul înalt de noutate și originalitate al prezentei lucrări este dat de:

- ✓ *analiza privind trasabilitatea multistratificată a xenobioticelor într-un macrosistem fluviu-deltă-mare și zone umede.*
- ✓ *analiza calității ecosistemelor acvatice din cadrul zonelor umede de importanță internațională și din cadrul siturilor existente în lista patrimoniului mondial al UNESCO.*

Astfel, în urma unui studiu amănunțit al literaturii de specialitate disponibile se poate afirma faptul că niciuna dintre cele două analize menționate mai sus nu a fost găsită ca fiind studiată.

În concluzie, lucrarea aduce o contribuție însemnată la elucidarea fenomenelor abordate. De asemenea, rezultatele consemnate au dovedit reducerea gradului de poluare cu elemente metalice în ecosistemele acvatice din România, fapt direct asociat cu reducerea activității industriale după anul 1989. Cu toate acestea, în România, o sursă emergentă de poluare difuză, în lunca Dunării și Delta Dunării, este reprezentată de activitatea agricolă practică în sistem intensiv și super-intensiv, prin aplicarea de substanțe agro-chimice, ce conțin cantități semnificative de elemente metalice. Recomand, astfel, realizarea tranziției de la practicile agricole de tip

convențional la cele de tip ecologic, în special în perimetrul adiacent zonelor umede din Delta Dunării și utilizarea substanțelor agro-chimice cu un conținut redus de Cd, Pb și As. De asemenea, din prisma siguranței alimentare, se recomandă consumul peștilor produși în sisteme de acvacultură controlate, pentru a minimiza posibila expunere a consumatorilor de pește și produse din pește la diferite concentrații de metale grele.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR ÎNTREPRINSE

Diseminarea rezultatelor cercetărilor efectuate pe parcursul studiilor doctorale s-au materializat prin publicarea sau comunicarea unor lucrări științifice după cum urmează:

Articole științifice publicate în reviste cotate/indexate ISI:

1. **Simionov I.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., Plăcintă E., "The influence of water and sediments nitrite concentration on chemical fish meat composition in different aquatic ecosystems", Revue Roumanie de Chimie (august, 2017), Vol. 62, Issue 10, 783 – 791. **Factor de impact: 0,395.** <http://revroum.lew.ro/wp-content/uploads/2017/10/Art%2009.pdf>
2. **Simionov I.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc Sîrbu E., "The evaluation of heavy metals concentration dynamics in fish meat from the Black Sea coastal area: an overview", Environmental Engineering and management Journal (mai, 2019), Vol. 18, No. 5, 1097-1110. **Factor de impact: 1,186.** <http://www.eemj.eu/index.php/EEMJ/article/view/3872>
3. **Simionov I.**, CRISTEA V., Ștefan-Mihai PETREA, Alina MOGODAN, Mircea Nicoara, Emanuel Stefan Baltag, Ștefan-Adrian Strungaru, Caterina Faggio; "Sex gender influence in bioconcentration and physiological demand of essential and nonessential elements in Black Sea turbot (*Psetta maxima maeotica*); 2019, Journal of Marine Science and Engineering - MDPI, **Factor de impact: 1,732, in-press.**
4. Zugravu G.A., Kamel K.I., Turek Rahoveanu M.M., Coadă M.T., Petrea S.M., Bandi C., Cretu M., **Simionov I.A.**, "Development Smart Water Aquaponics Model" – Risk in Contemporary Economy (iunie, 2017) 456 - 464. http://lumenpublishing.com/proceedings/wp-content/uploads/2017/11/RCE_2017_456-464.pdf
5. **Simionov I.**, Cristea V., Petrea S.M., Coadă M.T., Cristea D., Turek Rahoveanu A., Zugravu A.G., "Environmental Risk Assessment of Aquaponics Integrated Platform", IBIMA, ISBN: 978-0-9860419-7-6, (mai, 2017). <https://ibima.org/accepted-paper/environmental-risk-assessment-of-aquaponics-integrated-platform/>
6. **Simionov I.**, Cristea V., Mogodan A., Ștefan-Adrian STRUNGARU, Ștefan-Mihai PETREA, Camelia Costela FASOLA and Gheorghe Adrian ZUGRAVU, "Heavy metals presence in aquaculture ecosystems"; International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, Spain 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3. <https://ibima.org/accepted-paper/heavy-metals-presence-in-aquaculture-ecosystems/>
7. Alina MOGODAN, Victor CRISTEA, Ștefan-Mihai PETREA, **Simionov I.**, Ciprian Petrisor PLENOVICI and Gheorghe Adrian ZUGRAVU, "The Integration of Multi-Trophic concept – A Solution for Modern Aquaculture Sustainable Development"; International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, Spain 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3. <https://ibima.org/accepted-paper/the-integration-of-multi-trophicconcept-a-solution-for-modern-aquaculture-sustainable-development/>
8. Alina MOGODAN, Isabelle METAXA, Ștefan PETREA, **Simionov I.**, Victor CRISTEA; The Kinetics of Chlorophyll "a" and Chyanophyta Algae in Two Cyprinids Polyculture Pond Systems; International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3. <https://ibima.org/accepted-paper/the-kinetics-of-chlorophyll-a-and-chyanophyta-algae-in-two-cyprinids-polyculture-pond-systems/>
9. Ștefan PETREA, Isabelle METAXA, Alina MOGODAN, **Simionov I.**, Victor CRISTEA; The nitrogen compounds kinetics in two different types of IMTA cyprinids ponds systems; International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, Spain

- 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3. <https://ibima.org/accepted-paper/the-nitrogen-compounds-kinetics-in-two-different-types-of-imta-cyprinids-ponds-systems/>
10. Alina MOGODAN, Isabelle METAXA, Stefan PETREA, **Simionov I.** and Victor CRISTEA; The Dynamics of Reed Total Phosphorus and Nitrogen Compounds Concentration in Two IMTA Pond Based Systems; International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, Spain 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3. <https://ibima.org/accepted-paper/the-dynamics-of-reed-total-phosphorus-and-nitrogen-compounds-concentration-in-two-imta-pond-based-systems/>
 11. Ștefan-Mihai Petrea, Alina Mogodan, Isabelle Metaxa, Cătălin Platon, Mioara Costache, **Simionov I.**, „The technological water nitrogen compounds dynamics in the experimental ponds, inlet and outlet channels”, Present Environment and Sustainable Development, oct. 2019, vol. 13, nr. 2, 259-277. <http://eds.b.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=18435971&AN=139571783&h=bD7ahM0D271AIUIJ%2fy1cTYJfwn4oSoFk3txuoUTcEht1AiAd7ZNjDjGiCKoakBI767DDMLTL36R4vFqJ11TJQ%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlha shurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d18435971%26AN%3d139571783>

Articole științifice publicate în reviste BDI:

1. **Simionov I.**, Cristea V., Petrea S.M., Sîrbu E., Coadă M.T., Cristea D.S., “The presence of heavy metals in fish meat from Danube River: an overview” – articol publicat in Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society (decembrie, 2016), vol. 9, Issue 1, 1388-1399. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2016.1388-1399.pdf>
2. Andrei Guriencu R., Cristea V., Dediu L., Cretu M., Docan A.I., Grecu I.R., Coadă M.T., **Simionov I.A.**, “The influence of different stocking densities on growth performances of hybrid bester (*Huso huso* ♂ x *Acipenser ruthenus* ♀) in a recirculating aquaculture system” – articol publicat in Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society (mai, 2016), Vol. 9, Issue 3, 541 – 549. <https://www.bioflux.com.ro/docs/2016.541-549.pdf>
3. **Simionov I.**, Cristea V., Petrea S.M., Nicoară M., Strungaru S.M., “Aquaponic awareness: a modern approach for limiting the aquaculture environmental impact and improving the productivity”, Analele Științifice ale "Universității Alexandru Ioan Cuza" din Iași, Secțiunea I Biologie Animală, (2017) ISSN 1224-581X, No. 63, 75 –83. https://www.researchgate.net/publication/330354430_AQUAPONICS_AWARENESS_A_MODERN_APPROACH_FOR_LIMITING_THE_AQUACULTURE_ENVIRONMENTAL_IMPACT_AND_IMPROVING_THE_PRODUCTIVITY.
4. Tenciu M., Mocanu E.E., Patriche N., Nistor V., Athanasopoulos L.B., Esanu V.O., **Simionov I.A.**, „Improvement of water quality from the fish farming in recirculating system using additives based on zeolites”, Analele Științifice University ale Facultății de Zoothenie, Universitatea “Ion Ionescu de la Brad”, Iași, (octombrie, 2018), Vol. 70, 184 – 189. http://www.uaiasi.ro/zootehnie/Pdf/Pdf_Vol_70/Magdalena_Tenciu.pdf
5. Athanasopoulos L., Patriche N., Tenciu M., Mocanu E., **Simionov I.**, Nistor V., “The effect of peracetic acid in the treatment of gyrodactylosis in rainbow trout”, Analele Științifice University ale Facultății de Zoothenie, Universitatea “Ion Ionescu de la Brad”, Iași, (martie, 2019), Vol. 71, 146 – 150. http://www.uaiasi.ro/zootehnie/Pdf/Pdf_Vol_71/Liliana_Athanasopoulos.pdf
6. Athanasopoulos L., Jecu E., Tenciu M., Mocanu E., Nistor V., **Simionov I.A.**, Chioveanu M.C., “The use of parasiticide treatments in carp larviculture”, Lucrări științifice medicină veterinară, Timișoară, Volumul LII (3), 2019. <https://www.usab->

tm.ro/utilizatori/medicinaveterinara/file/Volum%20LII%20%283%29%202019%20-%2028sept.pdf

7. Petrea Șt.-M., Mogodan Alina, **Simionov I.A.**, Cristea V.; Effect of feeding rate on growth performance of *A. stellatus* (Pallas, 1771) reared in a recirculating aquaculture system, 2019, Lucrări științifice, Seria Zootehnie, ISSN 1454 – 7368. http://www.uaiasi.ro/zootehnie/Pdf/Pdf_Vol_72/St_Petrea.pdf
8. Mogodan Alina, Petrea Șt.-M., **Simionov I.A.**, Cristea V.; Comparative study regarding the influence of phytobiotics as feed additives on biochemical composition of *Oreochromis niloticus* meat, 2019, Lucrări științifice, Seria Zootehnie, ISSN 1454 – 7368 – in press
9. **Simionov I.A.**, Petrea Șt.-M., Mogodan Alina, Cristea V., Strungaru Șt.-A., Stoian Valeria - Water quality evaluation of cyprinid pond based production system effluent, 2019, Lucrări științifice, Seria Zootehnie, ISSN 1454 – 7368 – in press

Articole științifice publicate în alte reviste:

1. Victor CRISTEA, Stefan-Mihai PETREA, Alina MOGODAN, **Simionov I.A.**; Sisteme integrate de acvacultură intensivă - Soluție pentru dezvoltarea eficientă și sustenabilă a acvaculturii intensive; aprilie 2019, IndustriaCarnii.ro, pp. 94 – 99.
2. Victor CRISTEA, Stefan-Mihai PETREA, **Simionov I.A.**, Alina MOGODAN, Marilena Măreanu; Acvacultura sturionicolă intensivă și superintensivă; noiembrie 2018, IndustriaCarnii.ro, pp. 106 – 109.
3. Victor CRISTEA, Alina MOGODAN, Stefan-Mihai PETREA, **Simionov I.A.**; Utilizarea fitobioticelelor în acvacultură și în industria procesării peștelui; ianuarie 2019, IndustriaCarnii.ro, pp. 106 – 110.
4. Victor CRISTEA, **Simionov I.A.**, Alina MOGODAN, Stefan-Mihai PETREA; Prezența metalelor grele în carnea de pește; februarie 2019, IndustriaCarnii.ro, pp. 106 – 110.

Cărți publicate:

1. Petrea S. M., **Simionov I.**, Coada M., Cristea V., Zugravu A., Cretu M., Bandi C., **Atmospheric and biological models for aquaponics production systems**; LAP Lambert Academic Publishing (2017); în limba engleză, nr. pag. 152, ISBN-13: 978-620-2-06369-2.
2. Cristea V., Zugravu A., Petrea S. M., Coada M., Cretu M., Bandi C., **Simionov I.; Start-up guide for recirculating integrated aquaponic systems**; LAP Lambert Academic Publishing (2017); în limba engleză, nr. pag. 152, ISBN-13: 978-620-2-06373-9; ISBN-10: 6202063734; EAN: 9786202063739.

Comunicări la conferințe internaționale:

1. **Simionov I.A.**, Cristea V, Plavan G., Nicoara M., Strungaru S.A., "A study on essential and non-essential elements in the Black Sea turbot, along the romanian coastal area", International Zoological Congress of Grigore Antipa Museum, Bucharest, 2016.
2. **Simionov I.A.**, Cristea V., Bocioc E., Petrea S.M., The presence of heavy metals concentration in fish meat from the danube river: a review, Young Researches in Biosciences, Cluj-Napoca, 2016.
3. **Simionov I.A.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., Placinta S., „Influence of nitrites concentration in water and sediments on fish meat biochemical composition, in different aquatic ecosystems”, FBASM (Faculty of biology Annual Scientific Meeting) Iasi, 2016.

4. **Simionov I.A.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., "An evaluation of heavy metals concentration in fish meat from Black Sea coastal area: an overview", Scientific Conference of Doctoral Schools, Galati, 2016.
5. **Simionov I.A.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., "The presence of heavy metals concentration in fish meat from the Danube River: a review", Scientific Conference of Doctoral Schools, Galati, 2016.
6. Andrei R., Cristea V., Dediu L., Cretu M., **Simionov I.A.**, "Effects of dietary protein and meal frequency on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a recirculating aquaculture system", Scientific Conference of Doctoral Schools, Galati, 2016.
7. **Simionov I.A.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., "A review: heavy metals concentration in fish meat from Danube River", International Conference of Physical Chemistry (ROMPHYSICHEM), Galati, 2016.
8. **Simionov I.A.**, Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., "The influence of water and nitrite concentration on chemical fish meat composition in different aquatic ecosystems", Conference of Physical Chemistry (ROMPHYSICHEM), Galati, 2016.
9. Fasolă-Mătășaru L., Strungaru S.A., **Simionov I.A.**, Nicoară M., Cojocar D., "The presence of different elements in Herons eggshells used as bioindicators of wetland health in Moldova region, Romania: preliminary study", The 9th International Zoological Congress of "Grigore Antipa" Museum (CZGA 2017).
10. **Simionov I.A.**, Cristea V., Plavan G., Baltag E., Strungaru S.A., Nicoara M., "The level of pollution with metals and organic carbon on the lower Danube sector through a multilevel analysis, Deltas and Wetlands", Tulcea, 2018.
11. Curlisca A., Cristea V., Petrea S.M., **Simionov I.**, "Evolution of hydrochemical water conditions from marine mammals stationed pools at Natural Science Museum Complex Constanta (2006 - 2018)", International Workshop on Sustainable Water Ecosystems Management (SWEM), Bucharest, 2019.
12. Curlisca A., Cristea V., Petrea S.M., **Simionov I.**, "Diversity of trophological plans applied to marine mammals from the biological patrimony of Natural Sciences Museum Complex Constanta depending on the species, season and age", International Workshop on Sustainable Water Ecosystems Management (SWEM), Bucharest, 2019.
13. Dragomir E.C., Chioveanu M.C., **Simionov I.A.**, Minzala D.N., Crivineanu M., Monitoring of fish health status in aquaponical systems, Sustainable water ecosystems management, FMVB Workshop, 5-6 aprilie, 2019.
14. Dragomir E.C., Chioveanu M.C., **Simionov I.A.**, Minzala D.N., Crivineanu M., "Sustainable water ecosystems management monitoring of fish health status in aquaponical systems", Scientific Conference of Doctoral Schools – Perspectives and challenges in doctoral research, Galati, 2019.
15. Metaxa I., Mogodan A., Petrea S.M., **Simionov I.A.**, Platon C., "Nitrogen balance study regarding the efficiency of IMTA and pond partition techniques in reducing the environmental impact of cyprinids pond aquaculture", The 14 th Edition of Present Environment and Sustainable Development International Conference, Iasi, 2019.
16. Petrea S.M., Mogodan A., **Simionov I.A.**, Cristea V., Platon C., "The efficiency of substrate aquaponics techniques in terms of phosphorus removal in an integrated stellate sturgeon - spinach production system", The 14 th Edition of Present Environment and Sustainable Development International Conference, Iasi, 2019.
17. Mogodan A., Petrea S.M., **Simionov I.A.**, Cristea V., Platon C., "Impact evaluation of climate change on fisheries and aquaculture sector", The 14 th Edition of Present Environment and Sustainable Development International Conference, Iasi, 2019.
18. Chioveanu M.C., **Simionov I.A.**, Patriche N., Tenciu M., Dragomir E., Cristea V., Minzala D.N., "The influence of Danube river hydrographic and thermic factors on fish stocks dynamics in Razim-Sinoe lagoon system", 16th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Grecia, 2019.

19. Petrea S.M., Mogodan A., **Simionov I.A.**, Cristea V., "The Nitrate Concentration in Various Leafy Green Vegetables Growth in Integrated Aquaculture Systems by Applying Different Hydraulic Regimes", 9th International Euroaliment Symposium, Galati, 2019.
20. Mogodan A., Petrea S.M., **Simionov I.A.**, Cristea V., "The Influence of Five Phytobiotics on Biochemical Composition of Oreochromis Niloticus Meat Reared in a Recirculating Aquaculture System", 9th International Euroaliment Symposium, Galati, 2019.
21. **Simionov I.A.**, Athanasopoulos L., Nistor V., Tenciu M., Patriche N., Cristea V., "Seasonal Specific Fish Diseases and Their Effect on Cyprinid Culture in the South-Est Region of Romania: A Study Case", 9th International Euroaliment Symposium, Galati, 2019.
22. **Simionov I.A.**, Cristea V., Strungaru S.A., Petrea S.M., Mogodan A., Plavan G., Baltag E.S., Nicoară M., "Bioaccumulation of heavy metals in turbot tissues from the Romanian Black Sea coast", 10th International Conference on Environmental Engineering and Management, Iasi, 2019.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] Official Journal of the European Communities, *DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, L 327/1.
- [2] ANPM, Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, *Raport anual privind starea mediului în România*, anul 2015.
- [3] Omar W.A., Zaghloul K.H., Abdel-Khalek A.A., Abo-Hegab S., *Risk Assessment and Toxic Effects of Metal Pollution in Two Cultured and Wild Fish Species from Highly Degraded Aquatic Habitats*, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 65, 2013, pages 753-764.
- [4] Strungaru S.A., *Contaminarea cu metale grele și toxicocinetica acestora în ecosistemele acvatice dulcicole, influnța lor asupra organismelor acvatice și asupra omului*, Teză de doctorat, Facultatea de Biologie, Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași, 2016.
- [5] Begy R.C., Preoteasa L., Timar-Gabor A., Mihaiescu R., Tanaselia C., Kelemen S., Simon H., *Sediment dynamics and heavy metal pollution history of the Cruhlig Lake (Danube Delta, Romania)*, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 153, 2016, Pages 167-175.
- [6] ICPDR, International Commission for the Protection of Danube River, *Danube Facts and Figures, Romania*, April, 2006.
- [7] Ergönül MB și Altındağ A, *Heavy metal concentrations in the muscle tissues of seven commercial fish species from Sinop coasts of the Black Sea*, Annual Set the Environment Protection, Volume 16, 2014, Pages 34-51.
- [8] Asocieria Rompop, *Studiu de piață pentru sectorul pescăresc din România*, Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale – Direcția Generală Pescuit – Autoritatea de Management pentru POP, 2014.
- [9] Banaduc D., Rey S., Trichkova T., Lenhardt M., Curtean-Banaduc A., *The Lower Danube River–Danube Delta–North West Black Sea: A pivotal area of major interest for the past, present and future of its fish fauna — A short review*, Science of The Total Environment, Volume 545-546, 2016, Pages 137-151.
- [10] Asefa W. și Beranu T., *Levels of Some Trace Metals in Fishes Tissues, Water and Sediment at Tendaho Water Reservoir, Afar Region, Ethiopia*. J Environ Anal Toxicol, Volume 5, 2015, Page 313.
- [11] Moolenaar S.W., *Sustainable management of heavy metals in agro-ecosystems*. Teză de doctorat, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Olanda, 1998.
- Duruibe J.O., Ogwuegbu, M.O.C. and Ekwurugwu J.N., Heavy metal pollution and human biotoxic effects, *International Journal of Physical Sciences*, Volume 2, 2007, Pages 112-118.
- [12] Duruibe J.O., Ogwuegbu, M.O.C. and Ekwurugwu J.N., *Heavy metal pollution and human biotoxic effects*, International Journal of Physical Sciences, Volume 2, 2007, Pages 112-118.
- [13] Oves, M., Khan, M.S., Zaidi, A., Ahmad, E., *Soil contamination, nutritive value, and human health risk assessment of heavy metals: an overview*. Tox. Heavy Met. Leg. Biorem. Volume 1, 2012, Pages 1–28.
- [14] Romeo M., Siau Y., Sidoumou Z., Gnassia-Barelli M., *Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast*, Sci Total Environ, Volume 232 (3), 1999, Pages 169-175.

- [15] Martins C.I.M., Eding E.P., Verreth J.A.J., *The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus**, Food Chemistry, Volume 126, 2011, Pages 1001-1005.
- [16] Radulescu C., Stihl C., Dulama I.D., Chelarescu E.D., Bretcan P., Tanislav D., *Assessment of heavy metals content in water and mud of several salt lakes from Romania by atomic absorption spectrometry*, Romanian Journal of Physics, Volume 60, 2015, Pages 246-256.
- [17] Strungaru SA, Nicoara M, Jitar O, Plavan G., *Influence of urban activity in modifying water parameters, concentration and uptake of heavy metals in *Typha latifolia* L. into a river that crosses an industrial city*. Journal of Environmental Health Science & Engineering, Volume 13:5, 2015.
- [18] Burada A., *Industrial pollution and its impact on the Danube Delta Biosphere Reserve*, PhD Thesis, „Dunarea de Jos” University of Galati, Galati, Romania, 2014.
- [19] Munteanu G. și Bogatu D., *Tratat de ihtiopoaologie*, Editura Excelsior Art, 2008, Timișoara, România, ISBN 978-973-592-207-8.
- [21] Jongea, M. D., Vijverb, B. V., Blusta, R., & Bervoetsa, L., *Responses of aquatic organisms to metal pollution in a lowland river in Flanders: a comparison of diatoms and macroinvertebrates*, The Science of Total Environment, Volume 407, 2008, Pages 615–629.
- [22] Podar D., *Plant transporters involved in heavy metal homeostasis*. ELBA Bioflux, Volume 2(2), 2010, Pages 82-87.
- [23] Tao Y., Yuan Z., Wei M., *Characterization of heavy metals in water and sediments in Taihu Lake, China*, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 184, 2012, Pages 4367-4383.
- [27] Stancheva M., Makedonski L., Peykeva K., *Determination of heavy metal concentrations of most consumed fish species from Bulgarian Black Sea coast*, Bulgarian Chemical Communications, Volume 46, 2014, Pages 195-203.
- [30] Burada A., Topa C.M., Georgescu L.P., Teodorof L., Nastase C., Seceleanu-Odor D., Negrea B.M., Iticescu C., *Heavy metals accumulation in plankton and water of four aquatic complexes from Danube Delta area*, AACL BIOFLUX, Volume 7, 2014, Page 301.
- [39] Stancheva M., Peycheva K., Makedonski L., Rizov T., *Heavy metals and PCBs level of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) from Bulgarian Black sea waters*, Ovidius University Annals of Chemistry, Volume 21, 2010, Pages 41-48.
- [40] Ben Salem Z., Capelli N., Laffray X., Elise G., Ayadi H., Aleya L., *Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France)*, Ecological Engineering, Volume 69, 2014, Pages 25-37.
- [44] Subotic S., Spasic S., Visnjic-Jeftic Z., Hegedis A., Krpo-Cetkovic J., Mickovic B., Skoric S., Lenhardt M., *Heavy metal and trace element bioaccumulation in target tissues of four edible fish species from the Danube River (Serbia)*, Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 98, 2013, Pages 196-202.
- [45] Di Giulio RT, Meyer JN., *Reactive oxygen species and oxidative stress*. In: Di Giulio RT, Hinton DE (eds.): *The Toxicology of Fishes*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2008, Pages 273–324.
- [46] Tuzen M., *Toxic and essential trace elemental content in fish species from the Black Sea, Turkey*, Food and chemical Toxicology, Volume 47, 2009, Pages 1785-1790.
- [47] Yang Q., Li Z., Lu X., Duan Q., Huang L., Bi J., *A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment*, Science of the Total Environment, Volume 642, 2018, 690-700.
- [49] Yu T., Zhang Y., Meng W., Hu X., *Characterization of heavy metals in water and sediments in Taihu Lake, China*, Environmental Monitor Assessment, Volume 184, 2012, Pages 4367-4382.

- [50] Morina A., Morina F., Djikanovic V., Spasic S., Krpo-Cetkovic J., Kostic B., Lenhardt M., *Common barbel (Barbus barbus) as a bioindicator of surface river sediment pollution with Cu and Zn in three rivers of the Danube River Basin in Serbia*, Environmental Science and Pollution Research, Volume 23, 2016, Pages 6723-6734.
- [51] Liang, Y., & Wong, M. H., *Spatial and temporal organic and heavy metal pollution at Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong*. Chemosphere, Volume 52, 2003, Pages 1647 – 1658.
- [52] Yao, S. C., & Xue, B., *Nutrients and heavy metals in multi-cores from Zhushan Bay at Taihu Lake, the largest shallow lake in the Yangtze Delta, China*. Quarternary International, Volume 226, 2010, Pages 23 –28.
- [56] Bervoets, L., & Blust, R., *Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (Gobio gobio) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor*, Environment Pollution, Volume 126, 2003, Pages 9 –19.
- [57] Chi, Q. Q., Zhu, G. W., & Langdon, A., *Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China*, Journal of Environmental Sciences, Volume 19, 2007, Pages 1500–1504.
- [58] Bat L., Oztekin H.C, Ustun F., *Heavy Metal Levels in Four Commercial Fishes Caught in Sinop Coasts of the Black Sea, Turkey*, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Volume 15, 2015, Pages 399-405.
- [67] Pavlovic P., Mitrovic M., Dordevic D., Sakan S., Slobodnik J., Liska I., Csanyi B., Jaric S., Kostic O., Pavlovic D., Marinkovic N., Tubic B., Paunovic M., *Assessment of the contamination of riparian soil and vegetation by trace metals — A Danube River case study*, Science of the Total Environment, Volume 540, 2016, Pages 396-409.
- [71] Gasparoti C., *The influence of the anthropic factors on the black sea state*, Mechanical Testing and Diagnosis, Volume 1, 2014, Pages 13-31.
- [84] Legea nr. 265/15.05.2002 publicată în Monitorul Oficial 352/27.05.2002.
- [85] Hotararea 352/2005 din 2005.05.11, *Hotararea 352/2005 privind modificarea și completarea Hotărârii Guvernului nr. 188/2002 pentru aprobarea unor norme privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate*.
- [90] Official Journal of the European Union, L 364/5, 20.12.2006., *EC Directive, (2006), Directive 2006/1881/EC the Commission of the European Communities Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (Text with EEA relevance)*, 2006.
- [92] Milanov D. R., Krstic M., Markovic R., Jovanovic A. D., Baltic M. B., Ivanovic S. J., Jovetic M., Baltic Z. M., *Analysis of heavy metals concentration in tissues of three different fish species included in human diet from Danube River, in the Belgrad region, Serbia*, Acta Veterinaria Belgrad Volume 66, 2016, Pages 89-102.
- [93] Miloskovic A., Dojcinovic B., Kovacevic S., Radojkovic N., Radenkovic M., Milosevic D., Simic V., *Spatial monitoring of heavy metals in the inland waters of Serbia: a multispecies approach based on commercial fish*, Environmental Science and Pollution Research, Volume 23(10), 2016, Pages 9918-9933.
- [95] Visnjic-Jeftic Z., Jaric I, Jovanovic L., Skoric S., Smederevac-Lalic M., Nikcevic M., Lenhardt M., *Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (Alosa immaculata, Bennet, 1835) from the Danube river (Serbia)*, Microchemical Journal, Volume 95, 2010, Pages 341-344.
- [96] Ionita C., Mititelu M., Morosan E., *Analysis of heavy metals and organic pollutants from some Danube River fishes*, Farmacia, Volume 62(2), 2014, Pages 299-305.

- [97] Zrnčić S., Oraić D., Čaleta M., Mihaljević M., Zanella D., Bilandžić N., *Biomonitoring of heavy metals in fish from the Danube River*, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 185, 2013, Pages 1189-1198.
- [98] Jarić I., Višnjić-Jeftić Z., Cvijanović G., Gagić Z., Jovanović L., Škorić S., Lenhardt M., *Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of starlet (Acipenser ruthenus) from the Danube River in Serbia by ICP-OES*, Microchemical Journal, Volume 98, 2011, Pages 77-81.
- [99] **Simionov** I.A., Cristea V., Petrea S.M., Bocioc E., Coadă M.T., Cristea D., *The presence of heavy metals in fish meat from Danube River: an overview*, AACL Bioflux, Volume 9(1), 2016, Pages 1388-1399.
- [100] Gati G., Pop C., Brudasca F., Gurzau A. E., Spinu M., *Assessment of the heavy metal contamination in the Danube Delta from the bioaccumulation perspective*, Global Journal of Human Social Science Geography, Geo-Sciences, Environmental Disaster Management, Volume 13, 2013, Pages 11-16.
- [101] Tudor M.L., Tudor M., David C., Teodorof L., Tudor D., Ibram O., *Heavy metals concentrations in aquatic environment and living organisms in the Danube Delta, Romania*, Chemicals as International and Accidental Global Environmental Threats, Springer, 2006, Pages 435-442.
- [102] Ungureanu V.G., Popescu R., Stanica A., Axente V., Milu C., *Metals in the danube river suspended sediments at the mouth of the Sf. Gheorghe distributary*, GEO-ECO-MARINA, National Institute of Marine Geology and Geo-ecology Modern and Ancient Fluvial, Deltaic and Marine Environments and Processes, 2003-2004.
- [103] Burada A., Topa C.M., Georgescu P.L., Teodorof L., Nastase C., Seceleanu-Odor D., Iticescu C., *Heavy Metals Environment Accumulation in Somova – Parcheș Aquatic Complex from the Danube Delta Area*, Revista de Chimie, Volume 66(1), 2015, Pages 48-54.
- [104] Rusu T., Rusu T.A., Vida C., Paduretu C., *Determining Heavy Metal Concentrations in the Waters of Babadag River*, ProEnvironment, Volume 7, 2014, Pages 80 – 84.
- [105] Ene A., Popescu I.V., Stihî C., Gheboianu A., Radulescu C., Tigau N., Gosav S., *Assessment of river water quality in central and eastern parts of romania using atomic and optical methods*, Journal of Science and Arts, Volume 1(12), 2010, Pages 113-118.
- [117] Culha S.T., Yabanly M., Baki B., Yozukmaz A., *Heavy metals in tissues of scorpionfish (Scorpaena porcus) caught from Black Sea (Turkey) and potential risks to human health*, Environmental Science and Pollution Research, Volume 23, 2016, Pages 20882-20892.
- [118] Makedonski, L., Ivanova P. C., Stancheva M., *Determination of some heavy metal of selected Black Sea fish species*, Food Control, Volume 30, 2015, Pages 1-6.
- [119] Jitar, O., Teodosiu C., Oros A., Plavan G., Nicoara M., *Bioaccumulation of heavy metals in marine organism from the Romanian sector of the Black Sea*, New Biotechnology, Volume 32, 2014, Pages 369-378.

- [120] Stancheva M., Merdzhanova A., Petrova E., Petrova D., *Heavy metals and proximate composition of Black Sea sprat (*Sprattus sprattus*) and goby (*Neogobius melanostomus*)*, Bulgarian Journal of Agricultural Science, Volume 19, 2013a, Pages 35–41.
- [121] Stancheva M., Makedonski L., Petrova E., *Determination of heavy metals (Pb, Cd, As and Hg) in Black Sea grey mullet (*Mugil cephalus*)*, Bulgarian Journal of Agricultural Sciences, Volume 19, 2013b, Pages 30-34.
- [122] Mendil D., Demirci, Z., Tuzen, M. and Soylak, M., *Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black Sea, Turkey*, Food and chemical toxicology, Volume 48, 2010, Pages 865-870.
- [123] Turan C., Dural M., Oksuz A. and Ozturk B., *Levels of heavy metals in some commercial fish species captured from the Black Sea and Mediterranean Coast of Turkey*, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 82, 2009, Pages 601-604.
- [124] Uluozlu O.D., Tuzen M, Mendil D. and Soylak M., *Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey*, Food Chemistry, Volume 104, 2007, Pages 835-840.
- [125] Tuzen M., *Determination of heavy metals in fish samples of middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry*, Food Chemistry, Volume 80, 2003, Pages 119-123.
- [126] **Simionov** I.A., Cristea V., Petrea S.M., Bocioc Sîrbu E., *Evaluation of heavy metals concentration dynamics in fish from the Black Sea coastal area: an overview*, Environmental Engineering and Management Journal, Volume 18 (5), 2019, Pages 1097-1110.
- [140] **Simionov** I., Cristea V., Mogodan A., Strungaru S.-A., Petrea S.-M., Fasola C.C. and Zugravu Ghe.A., *Heavy metals presence in aquaculture ecosystems*, International Business Information Management Conference (34th IBIMA) Madrid, Spain 2019, conference proceedings ISBN: 978-0-9998551-3-3.
- [141] Onuoha S.C., *Assessment of Metal Contamination in Aquaculture Fish Ponds South Eastern, Nigeria*, World Applied Sciences Journal, Volume 35 (1), 2017, Pages 124-127.
- [142] Feldlitz M., Juanico M., Karplus I., Milstein A., *Towards a safe standard for heavy metals in reclaimed water used for fish aquaculture*, Aquaculture, Volume 284, 2008, Pages 115-126.
- [143] Ju Y.R., Chen C.W., Chen C.F., Chuang X.Y., Dong C.D., *Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk*, International Biodeterioration and Biodegradation, Volume 124, 2017, Pages 314-325.
- [152] Deviller G., O. Palluel, C. Aliaume, H. Asanthi, W. Sanchez, M.A.F. Navad, *Impact assessment of various rearing systems on fish health using multibiomarker response and metal accumulation*, Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 61, 2005, Pages 89-97.
- [153] Sapkota A., Sapkota A.R., Kucharski M., Burke J., McKenzie S., Walker P., Lawrence P., *Aquaculture practices and potential human health risks: current knowledge and future priorities*, Environ Int., Volume 34(8), 2008, Pages 1215-26.
- [175] INS (Institutul Național de Statistică), *Disponibilitățile de consum ale populației în anul 2017*, 2018.
- [187] Livingstone DR., *Oxidative stress in aquatic organism in relation to pollution and agriculture*, Revue de Medecine Veterinaire Volume 154, 2003, Pages 427–430.
- [193] Timmons M. B., Guerdat T., Vinci B. J., *Recirculating Aquaculture*, 4th Edition, Ithaca Publishing Company, New York, 2018, ISBN 978-0-9712646-7-0.
- [154] Doherty V.F., Ogunkuade O.O., Kanife U.C., *Biomarkers of Oxidative Stress and Heavy Metal Levels as Indicators of Environmental Pollution in Some Selected Fishes in Lagos, Nigeria*, American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci, Volume 7(3), 2010, Pages 359-365.

[247] WHO, *Quality directive of potable water*, Second Edition, Volume 197, Geneva, Switzerland, World Health Organization, 1994.

[248] FAO/WHO, *Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO expert committee on food additives* (JECFA 1956-2003), ILSI Press International Life Sciences Institute, 2004.

[249] WHO, *Evaluation of certain contaminants in food: Sixty-fourth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives*, WHO technical Report Series, No. 930, Geneva, World Health Organization, Page 100, 2006.

[254] European Commission, *The EU fish market*, European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products, 2018 Edition.