

UNIVERSITATEA “ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN IAȘI

FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE

ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE

DOMENIUL ȘTIINȚA MEDIULUI

***Analiza comparativă a spectrului trofic al populațiilor de pești
din bazinul hidrografic al râului Neajlov***

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. habil. Nicoară Mircea Nicușor

Student-doctorand:

Rusu Angelica

Cuprins

Listă de abrevieri	4
Introducere	5
Capitolul 1: Stadiul actual al cunoașterii	7
1.2. Analiza spectrului trofic	7
1.1.1. Definiția și importanța spectrului trofic	7
1.1.2. Metode de analiză a spectrului trofic	7
1.2. Încadrarea sistematică și descrierea speciilor de pești din bazinul râului Neajlov.....	7
1.3. Microplasticele în ecosistemele acvatice.....	7
1.3.1. Definiția microplasticelor	7
1.3.2. Surse și tipuri de microplastice	7
1.3.3. Impactul microplasticelor asupra faunei ihtiologice.....	8
Capitolul 2: Materiale și metode de lucru.....	9
2.1. Caracterizarea fizico-geografică a zonei.....	9
2.2. Pescuitul electric (electronarcoza)	9
2.3. Procesele de disecare și triere	10
2.4. Indici ecologici utilizați	10
2.4.1. Indici analitici	10
2.4.2. Indici sintetici	10
2.4.3. Analiza statistică.....	11
2.5. Caracterizarea microplasticelor	11
Capitolul 3: Spectrul trofic al populațiilor de pești.....	12
3.1. Analiza calitativă și cantitativă a macronevertebratelor din conținutul stomacal al speciilor de pești analizați.....	12
3.2. Analiza comparativă a spectrelor trofice ale peștilor investigați	13

3.2.1. Discuții asupra spectrului trofic	14
3.2.2. Factori care influențează spectrul trofic.....	14
Capitolul 4. Prezența microplasticelor în conținutul stomacal al peștilor colectați	15
4.1. Analiza de regresie multiplă între lungimea/greutatea peștelui și cantitatea de microplastice ingerate	16
4.1.1. Analiza corelației Spearman dintre diversitatea trofică și cantitatea de microplastice.....	16
4.2. Analiza polimerilor cu spectrometria Micro-FTIR în modul ATR.....	16
4.3. Discuții asupra prezenței microplasticelor în conținutul stomacal al peștilor	16
Concluzii.....	17
Bibliografie.....	18
ANEXA 1- Diseminarea rezultatelor.....	20

Listă de abrevieri

A = abundența
AR% = abundența relativă (în procente)
ATR= reflexie totală atenuată
FA% = frecvența de apariție (în procente)
FTIR= Spectroscopie în infraroșu, cu transformată Fourier
H = indicele Shannon-Wiener (pentru diversitate)
H₂O₂ = peroxid de hidrogen
J = indicele Pielou (pentru uniformitate)
KOH = hidroxid de potasiu
MP = microplastice
PA = poliamidă
PE = polietilenă
PE-HD = polietilenă de înaltă densitate
PE-LD = polietilena de joasă densitate
PE-LLD = polietilenă liniară de joasă densitate
PE-MD = polietilenă de densitate medie
PES = poliester
PET = polietilen tereftalat
PP = polipropilenă
PS = polistiren
SEM = microscopie electronică prin scanare

Introducere

Analiza obiceiurilor alimentare ale peștilor permite determinarea prezenței unor grupuri de alimente în tractul digestiv și identificarea resurselor trofice cel mai frecvent consumate. De asemenea, examinarea spectrului trofic oferă informații despre disponibilitatea resurselor alimentare în ecosistem. Cunoașterea preferințelor alimentare ale fiecărei specii de pește poate contribui la gestionarea eficientă a resurselor trofice și la creșterea productivității speciilor valoroase economic (Chipps și Garvey, 2007). Spectrul trofic și importanța relativă a prăzii pot fi evaluate prin observarea prezenței sau absenței fiecărui taxon în exemplarele analizate (Manko, 2016).

Tema acestei lucrări a fost aleasă din nevoia de a înțelege în profunzime relațiile trofice ale comunităților piscicole din ecosistemele dulcicole din România, în contextul influențelor recente ale poluării cu microplastice. Bazinul râului Neajlov oferă un cadru ideal pentru o astfel de cercetare. Alegerea acestei teme a fost motivată de lipsa studiilor locale integrate care să coreleze structura dietei piscicole cu prezența microplasticelor și de necesitatea unei evaluări de referință care să poată fi utilizată în cercetările viitoare.

Lucrarea aduce o contribuție originală prin analiza simultană a spectrului trofic și a contaminării cu microplastice la nivel de specie, în cadrul unei arii geografice puțin documentate din punct de vedere ecotoxicologic. Deși datele au fost colectate în anul 2006, rezultatele pot fi utilizate ca etalon de referință pentru studii comparative actuale și viitoare.

Ipoteza de cercetare presupune că structura dietei peștilor din bazinul râului Neajlov reflectă atât preferințele alimentare ale speciilor, cât și disponibilitatea resurselor trofice, iar ingerarea microplasticelor este influențată de dimensiunile peștilor, nu de diversitatea trofică.

Scopul acestei lucrări este de a evalua structura trofică și gradul de contaminare cu microplastice al comunităților piscicole din bazinul râului Neajlov, pentru a înțelege modul în care peștii utilizează resursele trofice.

Obiectiv 1: Identificarea spectrelor trofice ale speciilor de pești din râul Neajlov, prin analiza conținutului stomacal și determinarea grupelor taxonomice consumate.

Obiectiv 2: Evaluarea diversității și echipartiției resurselor trofice consumate.

Obiectiv 3: Determinarea gradului de suprapunere trofică între specii, pentru a estima intensitatea competiției interspecifice.

Obiectiv 4: Investigarea prezenței și distribuției microplasticelor în stomacul peștilor și evaluarea tipurilor de particule ingerate.

Obiectiv 5: Corelarea contaminării cu microplastice cu factori ecologici, precum greutatea corporală sau diversitatea trofică.

Se urmărește conturarea unui profil detaliat al relațiilor trofice dintre speciile de pești din bazinul Neajlov, cu accent pe suprapunerile dintre nișele trofice, și identificarea unor tipare de contaminare cu microplastice, corelate cu specia și obiceiurile de hrănire. Totodată, se anticipează absența unei corelații directe între diversitatea trofică și nivelul de contaminare cu microplastice, însă se estimează implicarea unor factori morfometrici relevanți în explicarea ingestiei particulelor plastice.

Capitolul 1: Stadiul actual al cunoașterii

1.2. Analiza spectrului trofic

1.1.1. Definiția și importanța spectrului trofic

Analiza spectrului trofic este un proces prin care se determină dieta și poziția trofică a unei specii într-un ecosistem (Pinnegar și Polunin, 2000). Prin studierea dietelor speciilor de pești dintr-un ecosistem aflăm resursele de hrană care fac parte din structura trofică a acestuia, precum și ce relații se formează, cum ar fi cea de tip prădător-pradă. Un alt aspect care se evidențiază prin cunoașterea resurselor consumate de pești este cel cu privire la impactul exercitat de speciile invazive asupra speciilor autohtone (Gozlan *et al.*, 2010).

1.1.2. Metode de analiză a spectrului trofic

Conținutul stomacal poate fi prelevat prin metode non-letale (lavaj gastric) sau prin disecție (Hyslop, 1980). De obicei, conținutul tubului digestiv este colectat prin sacrificarea exemplarului. Apoi urmează analiza directă a conținutului gastrointestinal, folosind microscopul (Manko, 2016).

1.2. Încadrarea sistematică și descrierea speciilor de pești din bazinul râului Neajlov

În această lucrare au fost analizate opt specii de pești: *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), *Gobio obtusirostris* Valenciennes, 1842, *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846), *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758), *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758), *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758), *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) și *Babka gymnotrachelus* (Kessler, 1857).

1.3. Microplasticele în ecosistemele acvatice

1.3.1. Definiția microplasticelor

Materialele plastice se clasifică în funcție de dimensiunea particulelor astfel: macroplasticele depășesc mărimea de 25 mm, mezoplasticele se încadrează între 5 și 25 mm, microplasticele mari variază între 1 și 5 mm, iar cele mici au sub 1 mm (Galgani *et al.*, 2023).

1.3.2. Surse și tipuri de microplastice

Plastics Europe afirmă că materialele plastice provin din surse naturale cum sunt țițeiul, gazele naturale, celuloza, cărbunele, acestea fiind supuse unor procese: polimerizarea și policondensarea. Polimerii au fiecare structura, dimensiunea și proprietățile sale, în funcție de monomerii de bază folosiți (Plastics Europe, 2021).

În anul 2020, cele mai utilizate tipuri de polimeri au fost polipropilena (PP) cu 19,7%, polietilena de joasă densitate și lineară (PE-LD, PE-LLD) cu 17,4%, urmate de polietilena de înaltă și medie densitate (PE-HD, PE-MD) cu 12,9%. PP este folosită frecvent în producerea bancnotelor și a ambalajelor alimentare, în timp ce PE-LD și PE-LLD sunt utilizate în agricultură și la fabricarea pungilor reutilizabile (Plastics Europe, 2020).

1.3.3. Impactul microplasticelor asupra faunei ihtiologice

Peștii care trăiesc în apele dulci sunt mai vulnerabili la contaminarea cu microplastice decât speciile marine, din cauza densității mai mari a surselor de poluare și a volumului redus de apă din râuri, în comparație cu cel al mărilor și oceanelor (McNeish *et al.*, 2018).

Deteriorarea organelor și țesuturilor cauzată de microplastice depinde de forma și dimensiunea acestora. Jabeen *et al.* (2018) a observat într-un studiu efectuat pe carasul auriu că, contactul direct al fibrelor în branhiile poate duce la ruperea filamentelor. Peștii care ingeră microplastice au leziuni în tractul gastrointestinal (Lei *et al.*, 2018), dintre care majoritatea afectează epiteliul (Jabeen *et al.*, 2018).

Capitolul 2: Materiale și metode de lucru

2.1. Caracterizarea fizico-geografică a zonei

Râul Neajlov, cu o lungime totală de 187,5 km și un bazin hidrografic de aproximativ 3.795 km², își are izvorul în apropierea orașului Pitești, din zona comunei Geamăna, la o altitudine de 322 m (Ujvari, 1972).

Au fost analizate șase puncte de colectare situate de-a lungul râului Neajlov și al afluenților săi (Fig. 2.1.). De la amonte către aval, stațiile de prelevare au fost următoarele: Stația 1, pe râul Neajlov, în amonte de podul din localitatea Broșteni, Stația 2, pe râul Neajlov, în amonte de podul din localitatea Vadu Lat, Stația 3, pe Râul Dâmbovnic, în amonte de podul din localitatea Șelaru, Stația 4, pe râul Dâmbovnic, în aval de podul din localitatea Goleasca, Stația 5, pe râul Milcovăț, în aval de podul din localitatea Ghimpați, în amonte de confluența cu râul Glavacioc și Stația 6, pe râul Neajlov, în amonte de podul din localitatea Călugăreni.

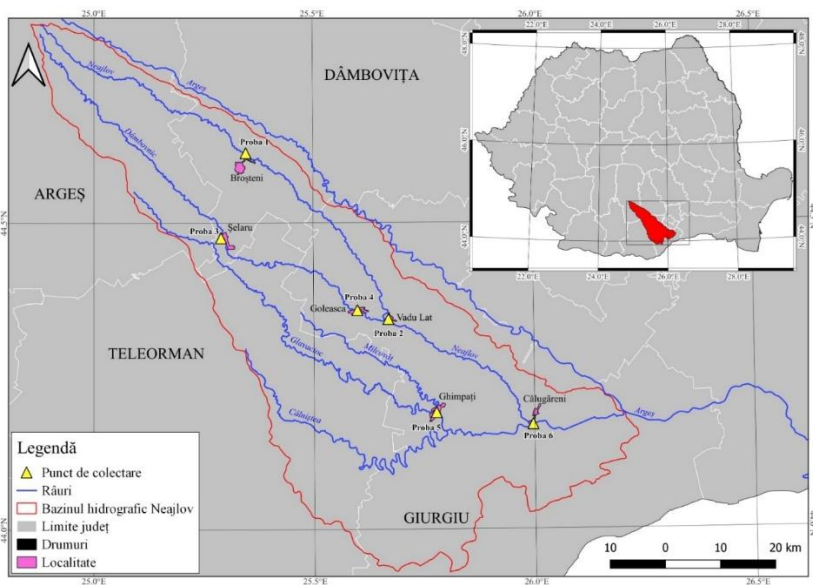


Fig. 2.1. Harta bazinului hidrografic al râului Neajlov (imagine originală)

2.2. Pescuitul electric (electronarcoza)

Pescuitul electric reprezintă o metodă consacrată în studiul ihtiologic, utilizată frecvent începând cu a doua jumătate a secolului XX (Reynolds și Dean, 2020). Etapa de prelevare a probelor *in situ* a fost realizată de o echipă de cercetători coordonată de conf. univ. dr. Dorel Ureche de la Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, utilizând tehnica electronarcozei prin utilizarea aparatului de pescuit FEG 5000.

2.3. Procesele de disecare și triere

După colectare, probele au fost transportate la laborator, unde au fost fie conservate, fie disecate în cazul exemplarelor mai mari. Tractul digestiv al acestora a fost păstrat într-un amestec de apă, glicerină și alcool tehnic (70%), respectând raportul 2:0,25:1, conform metodologiei descrise de Ureche *et al.* (2010). Examinarea macronevertebratelor din conținutul tractului digestiv s-a efectuat utilizând un stereomicroscop binocular Zeiss Discovery V.8, dotat cu cameră digitală și programul de analiză ZEN.

2.4. Indici ecologici utilizați

2.4.1. Indici analitici

Frecvența de apariție indică proporția procentuală a probelor (tracte digestive) în care o anumită categorie de pradă sau specie a fost identificată.

Frecvența de apariție (F%) se calculează astfel: $F\% = \frac{fi}{\sum f} \times 100$, *fi* reprezintă numărul de tracturi digestive în care a fost găsit taxonul *i*, $\sum f$ este numărul total de tracturi digestive analizate ale speciei de pește, care conțin elemente de hrană identificabile.

Abundența relativă (AR%) se calculează astfel: $AR\% = \frac{ni}{\sum n} \times 100$, *ni* reprezintă numărul total de indivizi ai taxonului *i* găsiți în tracturile digestive, $\sum n$ este numărul total de indivizi din toate taxoanele găsite în tracturile digestive ale speciei de pește. Acest indice reflectă proporția unui taxon în dieta peștilor, indicând cât de predominant este un anumit tip de hrană comparativ cu celelalte (Piria *et al.*, 2016).

2.4.2. Indici sintetici

Indicele Shannon-Wiener măsoară diversitatea specifică a unei comunități,

având în vedere atât numărul de specii, cât și distribuția acestora. Un indice mai mare indică o comunitate mai diversă.

Formula este: $H = -\sum p_i \times \log_2 p_i$, p_i este proporția individului speciei i în raport cu totalul indivizilor din comunitate.

Indicele Pielou măsoară echitatea distribuției speciilor într-o comunitate. Acesta indică cât de uniform sunt distribuite indivizii între specii. Valoarea lui variază între 0 și 1. Formula este: $J = \frac{H}{\ln(S)}$, H este indicele Shannon-Wiener; $\ln(S)$ este logaritmul natural al numărului total de specii (Yan *et al.*, 2022).

Indicele Pianka măsoară gradul de suprapunere a dietei între două specii. Acesta reflectă cât de similare sunt dietele a două specii, adică măsoară competiția trofică între specii.

$$O_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} * p_{ik}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n p^2_{ij}) * (\sum_{i=1}^n p^2_{ik})}}$$

- p_{ij} este proporția prăzii i din dieta speciei j

- p_{ik} este proporția prăzii i din dieta speciei k

- n este numărul total de tipuri de pradă considerate (taxa de pradă), adică toate tipurile de pradă i luate în considerare în analiza dietei celor două specii, j și k (Novakowski *et al.*, 2008).

2.4.3. Analiza statistică

Analizele statistice au fost efectuate utilizând aplicația Microsoft Excel (versiunea Microsoft Office Mondo 2016), prin intermediul funcțiilor standard integrate și al modulului suplimentar Data Analysis ToolPak, destinat analizelor statistice avansate.

2.5. Caracterizarea microplasticelor

A fost utilizată o metodă de digestie cu hidroxid de potasiu (KOH) și peroxid de hidrogen (H_2O_2), adaptată pentru specificul probelor analizate (Saad *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020a). Ulterior, microplasticele, identificate și măsurate, au fost numărate și atribuite mai multor categorii privind dimensiunile înregistrate, formele și culorile. Microscopie electronică cu baleiaj a fost utilizată pentru a examina trăsăturile de suprafață ale microplasticelor identificate. Analiza grupurilor

funcționale ale compușilor chimici din microplasticele reținute pe suprafața filtrului din fibră de sticlă a fost efectuată utilizând microscopie FTIR în modul ATR (Reflexie Totală Atenuată).

Capitolul 3: Spectrul trofic al populațiilor de pești

3.1. Analiza calitativă și cantitativă a macronevertebratelor din conținutul stomacal al speciilor de pești analizați

Stația 1, situată pe râul Neajlov, a inclus un total de 197 de indivizi aparținând la șase specii de pești, dintre care șase indivizi au avut tractul digestiv gol. Speciile identificate au fost: *Squalius cephalus* (17 indivizi), *Pseudorasbora parva* (97), *Leuciscus idus* (27), *Gobio obtusirostris* (42), *Alburnus alburnus* (12) și *Lepomis gibbosus* (2). Au fost identificate zece grupe taxonomice de macronevertebrate, dintre care cele mai frecvente au fost din ordinul Diptera și, în special, din familia Chironomidae, care au reprezentat 6,76% și respectiv 84,7% din totalul prăzii identificate.

Stația 2, localizată pe râul Neajlov, a cuprins un total de 78 de exemplare de pești, aparținând la patru specii: *Gobio obtusirostris* (26 indivizi), *Alburnus alburnus* (28 indivizi), *Leuciscus idus* (12 indivizi) și *Babka gymnotrachelus* (12 indivizi). În urma analizei conținutului stomacal pentru toate exemplarele colectate, au fost identificate 15 grupe taxonomice de macronevertebrate (incluzând și categoria „Insecta nedeterminată”), totalizând 1150 de organisme. Cele mai abundente grupe taxonomice au fost: familia Chironomidae (78,5%), familia Simuliidae (5,65%) și ordinul Coleoptera (5,56%).

Stația 3 a fost amplasată pe râul Dâmbovnic, în zona amonte a podului din localitatea Șelaru. În această stație au fost colectate 205 exemplare aparținând la șase specii de pești: *Carassius gibelio* (21 indivizi), *Gobio obtusirostris* (73), *Squalius cephalus* (66), *Pseudorasbora parva* (21), *Alburnus alburnus* (23) și *Lepomis gibbosus* (1). Dintre aceștia, zece indivizi au prezentat tractul digestiv gol, iar aceștia nu au fost incluși în analiza indicilor ecologici. În ceea ce privește hrana, au fost identificate șapte tipuri de macronevertebrate (inclusiv taxoni nedeterminați din clasa Insecta), cu un total de 748 de indivizi consumați. Cele mai abundente grupe taxonomice au fost: familia Chironomidae (80,6%), urmată de reprezentanți din ordinul Diptera (6,01%, excluzând Chironomidae și alte familii din același ordin) și din ordinul Ephemeroptera (5,74%)

În stația 4, situată pe râul Dâmbovnic, au fost colectate și analizate 56 de

exemplare de *Squalius cephalus* (clean). Analiza conținutului stomacal a evidențiat o predominanță a prăzii aparținând familiei Chironomidae, care a înregistrat o abundență relativă de 67,1% și o frecvență de apariție de 57,1%. În total, au fost identificate șapte grupe taxonomice, printre care se numără Collembola, familia Baetidae (ordinul Ephemeroptera) și familia Formicidae (ordinul Hymenoptera).

Stația 5, situată pe râul Milcovăț, a cuprins un total de 80 de indivizi, aparținând la șapte specii de pești: *Leuciscus idus* (20), *Alburnus alburnus* (18), *Babka gymnotrachelus* (22), *Squalius cephalus* (7), *Pseudorasbora parva* (7), *Gobio obtusirostris* (1) și *Carassius gibelio* (5). Analiza conținutului stomacal a relevat prezența a 11 grupe taxonomice de macronevertebrate, însumând un total de 750 de indivizi. Dominanța clară a fost atribuită familiei Chironomidae, care a reprezentat 84,6% din totalul macronevertebratelor identificate, urmată de familia Baetidae (5,4%) și ordinul Coleoptera (4,1%).

Stația 6, amplasată pe cursul râului Neajlov, a inclus 174 de exemplare de pești, din care două stomacuri au fost găsite goale. Specimenele aparțin la șapte specii: *Babka gymnotrachelus* (43 indivizi), *Gobio obtusirostris* (7), *Carassius gibelio* (1), *Leuciscus idus* (2), *Pseudorasbora parva* (4), *Squalius cephalus* (52) și *Alburnus alburnus* (65). În total, au fost identificate 16 grupe taxonomice de macronevertebrate, însumând 1558 de indivizi. Cele mai frecvent întâlnite grupe au fost: familia Chironomidae (79,65%), ordinul Coleoptera (24,41%), familia Baetidae (13,95%), familia Elmidae (9,88%) și ordinul Diptera (13,95%).

3.2. Analiza comparativă a spectrelor trofice ale peștilor investigați

În vederea conturării unei perspective de ansamblu asupra diversității ihtiologice din bazinul râului Neajlov, au fost analizate cumulativ datele provenite din toate punctele de recoltare. Analiza a evidențiat prezența a 8 specii de pești, totalizând 790 de indivizi, precum și 20 de grupuri taxonomice distincte, cu un număr total de 4847 de exemplare. Structura comunității de macronevertebrate consumate reflectă o diversitate moderată, valoarea indicelui Shannon fiind de 0,931. Totuși, valoarea scăzută a indicelui de echitate (Pielou = 0,311) arată că distribuția consumului nu este uniformă între grupele identificate, unele dintre ele fiind semnificativ mai reprezentate în dietă decât altele.

Analiza indicelui de suprapunere trofică Pianka a evidențiat un nivel înalt de similitudine în utilizarea resurselor alimentare între majoritatea speciilor piscicole investigate. Valori ridicate ale indicelui ($\geq 0,95$) au fost înregistrate între *Gobio obtusirostris*, *Pseudorasbora parva*, *Lepomis gibbosus*, *Alburnus alburnus* și *Babka*

gymnotrachelus, sugerând o suprapunere aproape completă a nișelor trofice (Fig. 3.9.).

	<i>C. gibelio</i>	<i>G. obtusirostris</i>	<i>S. cephalus</i>	<i>P. parva</i>	<i>A. alburnus</i>	<i>L. gibbosus</i>	<i>L. idus</i>	<i>B. gymnotrachelus</i>
<i>C. gibelio</i>	1							
<i>G. obtusirostris</i>	0.46	1						
<i>S. cephalus</i>	0.53	0.98	1					
<i>P. parva</i>	0.47	1.00	0.97	1				
<i>A. alburnus</i>	0.45	0.98	0.98	0.98	1			
<i>L. gibbosus</i>	0.46	1.00	0.98	1.00	0.98	1		
<i>L. idus</i>	0.44	0.96	0.97	0.96	0.99	0.96	1	
<i>B. gymnotrachelus</i>	0.44	0.99	0.98	0.99	0.97	0.99	0.95	1

Fig. 3.9. Valorile indicelui Pianka

3.2.1. Discuții asupra spectrului trofic

În acest subcapitol a fost analizată literatura de specialitate referitoare la spectrul trofic al speciilor studiate, evidențiindu-se diferențele și particularitățile regimului alimentar pentru fiecare specie.

3.2.2. Factori care influențează spectrul trofic

Spectrul trofic al celor opt specii de pești analizate a fost influențat semnificativ de o serie de factori locali, dintre care cei mai importanți sunt: disponibilitatea resurselor trofice bentonice, structura substratului, tipul de vegetație acvatică și riverană, precum și caracteristicile fizico-chimice ale apei (temperatura, pH, conductivitate).

Capitolul 4. Prezența microplasticelor în conținutul stomacal al peștilor colectați

În ultimii ani, microplasticele au devenit un poluant omniprezent în ecosistemele acvatice, afectând organismele acvatice prin ingestie directă sau indirectă (Collard *et al.*, 2018). În acest context, prezentul studiu investighează prezența microplasticelor din conținutul stomacal al mai multor specii de pești colectate din râul Neajlov, un râu important din sudul României. În urma analizării conținutului stomacal a șase specii de pești, cu un total de 200 de indivizi, colectate din mai multe stații de pe râul Neajlov, au fost identificate și cuantificate 1831 de particule plastice în funcție de formă (fibră, film, fragment), dimensiune (micro, mezo și nanoplastice), culoare, precum s-a calculat și media particulelor ingerate per individ.

Analiza morfologică a particulelor de microplastic a evidențiat o predominanță clară a fibrelor, cu un total de 1598 de particule, acestea fiind identificate în toate probele examinate. Clasificarea particulelor de plastic s-a realizat pe trei categorii de mărime: mezoplastice, acele particule plastice cu dimensiuni cuprinse între 5 și 25 mm, microplastice, cele cu dimensiuni mai mici de 5 mm, și nanoplastice, particulele de plastic care aveau mărimi mai reduse de 1 μ m. Rezultatele obținute au arătat că microplasticele au fost cele mai numeroase, cu un quantum de 1725 de particule și o frecvență de 99,5%. Culoarele particulelor de plastic identificate în urma inspecției vizuale la stereomicroscop au fost în număr de șapte. Culoarea albastră a fost cea mai des întâlnită, aceasta având un total de 894 de particule, fiindu-i atribuită o frecvență de apariție de 95,5%.

Cea mai mare valoare medie a microplasticelor a fost înregistrată la *Babka gymnotrachelus* (Milcovăț), cu 16,08 particule în medie și o deviație standard ridicată ($\pm 7,32$), indicând o variabilitate crescută între indivizi. De asemenea, *Gobio obtusirostris* (Neajlov) a prezentat o medie relativ ridicată (12,56) și o deviație standard mare ($\pm 5,21$), ceea ce poate indica expunere inegală sau diferențe individuale pronunțate. În schimb, speciile *Squalius cephalus*, indiferent de locație (Neajlov și Dâmbovnic), au înregistrat valori medii reduse (între 5,2 și 5,7), însoțite de cele mai mici deviații standard ($\pm 1,65$ – $1,75$), ceea ce sugerează un nivel scăzut și uniform al expunerii la microplastice.

4.1. Analiza de regresie multiplă între lungimea/greutatea peștelui și cantitatea de microplastice ingerate

O analiză de regresie multiplă a fost efectuată pentru a determina relația dintre parametrii (lungime și greutate) și numărul de microplastice ingerate. În general, greutatea pare să aibă un impact mai mare asupra ingestiei de microplastice comparativ cu lungimea, dar acest efect nu este consistent pentru toate speciile. Factorii ecologici sau comportamentali specifici fiecărei specii ar putea explica aceste diferențe.

4.1.1. Analiza corelației Spearman dintre diversitatea trofică și cantitatea de microplastice

A fost realizată o analiză a relației dintre diversitatea trofică și cantitatea de microplastice ingerate, însă aceasta nu evidențiază o corelație directă sau uniformă între cele două variabile.

4.2. Analiza polimerilor cu spectrometria Micro-FTIR în modul ATR

Analiza chimică a microplasticelor prelevate din stomacul a trei specii de pești, *Alburnus alburnus*, *Squalius cephalus*, *Babka gymnotrachelus*, a fost efectuată pe baza grupelor funcționale evidențiate prin spectrele de vibrație în infraroșu (IR) pe domeniul 4000 cm⁻¹- 650 cm⁻¹ obținute cu spectrometria Micro-FTIR în modul ATR cu apertură de 200 x 200 μm folosind aparatul LUMOS II produs de Bruker Optik GmbH din Germania. Rezultatele măsurărilor în IR arată proveniența din amestecuri de PA și PET a microplasticelor, nefiind excluse și alte tipuri de materiale plastice cu grupări funcționale. Pentru obținerea de rezultate mai concludente, este necesară îmbunătățirea tehnicii de prelevare și pregătire a probelor.

4.3. Discuții asupra prezenței microplasticelor în conținutul stomacal al peștilor

În acest subcapitol a fost analizată literatura de specialitate referitoare la prezența microplasticelor în sistemul digestiv al mai multor specii dulcicole de pești.

Concluzii

Structura trofică a ihtiocenozei din bazinul râului Neajlov reflectă o utilizare predominantă a resurselor bentonice, în special larvele de Chironomidae, care au fost identificate ca principală componentă a dietei la majoritatea speciilor analizate.

Dieta peștilor analizată prin indicele Shannon a indicat o diversitate trofică moderată, cu o valoare globală de 0,931, dar cu o distribuție inegală a resurselor (indicele de echitate Pielou = 0,311), ceea ce sugerează existența unor specii generaliste și oportuniste, dar și a unor specializări trofice.

S-a observat o suprapunere trofică ridicată între anumite specii, indicând potențială competiție pentru aceleași resurse.

Au fost identificate și strategii de segregare trofică, care permit evitarea competiției directe și menținerea coexistenței în același habitat.

Contaminarea cu microplastice este un fenomen extins în bazinul râului Neajlov, toate cele șase specii analizate în cadrul studiului prezentând urme de ingestie a particulelor plastice.

Încărcătura de microplastice variază semnificativ între specii și locații, ceea ce indică influența factorilor ecologici locali.

Nu s-a evidențiat o relație semnificativă între diversitatea trofică și nivelul de contaminare cu microplastice (Spearman $\rho = -0,41$; $p = 0,241$), ceea ce sugerează că ingerarea acestor particule nu este influențată direct de lărgimea nișei trofice, ci mai degrabă de tipul habitatului și de comportamentul de hrănire.

Analiza chimică a microplasticelor prelevate din conținutul stomacal al celor trei specii de pește a evidențiat că polimerii identificați sunt de natură PA (poliamidă) și PET (polietilen tereftalat).

Bibliografie

- Afanasyev S., Hupalo O., Tymoshenko N., Lietytska O., Roman A., Manturova O., Bănăduc D. (2023) Morphological and Trophic Features of the Invasive *Babka gymnotrachelus* (Gobiidae) in the Plain and Mountainous Ecosystems of the Dniester Basin: Spatiotemporal Expansion and Possible Threats to Native Fishes. *Fishes*, 8, 427. <http://dx.doi.org/10.3390/fishes8090427>.
- Balzani P., Gozlan R.E., Haubrock P.J. (2020) Overlapping niches between two co-occurring invasive fish: the topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* and the common bleak *Alburnus alburnus*. *Journal of Fish Biology*, 97, 1385–1392. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.14499>.
- Collard, F., Gasperi, J., Gilbert, B., Eppe, G., Azimi, S., Rocher, V., Tassin, B. (2018) Anthropogenic particles in the stomach contents and liver of the freshwater fish *Squalius cephalus*. *Science of The Total Environment*, 643, pp. 1257–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.313>.
- Curtean-Bănăduc, A.; Bănăduc, D. (2004) Cibin River fish communities structural and functional aspects. *Studii și Cercetări de Biologie, Seria biologie* I, X., pp. 93–102. <https://www.researchgate.net/publication/317232318>.
- Didenko, A., Buzevych, I., Volikov, Y., Kruzhylina, S., Gurbyk, A., Bekh, V. (2021) Seasonal abundance and feeding patterns of the invasive racer goby (*Babka gymnotrachelus*) in the littoral zone of a lowland European river. *Environmental Biology of Fishes*, 104, 6, pp. 701–717. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01104-9>.
- Hu, Y., Zhou, L., Zhu, J., și Gao, J. (2023). Efficient removal of polyamide particles from wastewater by electrocoagulation. *Journal of Water Process Engineering*, 51, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103417>.
- Manko, P. (2016) *Stomach content analysis in freshwater fish feeding ecology*. Vydavateľstvo Prešovskej Univerzity, Slovakia, pp. 5-26. <https://www.researchgate.net/publication/312383934>.
- Plastics Europe. (2020). Plastics – the Facts 2020: An analysis of European plastics production, demand and waste data.

- <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>.
- Plastics Europe. (2021). Plastics – the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2021>.
 - Rau, M. A., Plavan, G., Strungaru, S. A., Nicoara, M., Rodriguez-Lozano, P., Mihiu-Pintilie, A., Ureche, D., Klimaszyk, P. (2017) The impact of amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) on the riverine ecosystem: food selectivity of amur sleeper in a recently colonized river. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 46, 1, pp. 96–107. <https://doi.org/10.1515/ohs-2017-0010>.
 - **Rusu, A.**; Maxim, R.; Ureche, D.; Plavan, G.-I.; Cojocaru, I.; Nicoară M. (2025) The trophic spectra of *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) and *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) fish species from Dâmbovnic River (Neajlov/Danube Basin). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research* , 27.1 The Wetlands Diversity pp.25-32. https://magazines.ulbsibiu.ro/trser/trser27/trser_27.1-2025-25-32.pdf.
 - Strungaru, S. A., Jijie, R., Nicoara, M., Plavan, G., și Faggio, C. (2019). Micro- (nano) plastics in freshwater ecosystems: Abundance, toxicological impact and quantification methodology. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 110, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.025>.
 - Tapkir, S., Boukal, D., Kalous, L., Bartoň, D., Souza, A. T., Kolar, V., Soukalová, K., Duchet, C., Gottwald, M., Šmejkal, M. (2022) Invasive gibel carp *Carassius gibelio* outperforms threatened native crucian carp *Carassius carassius* in growth rate and effectiveness of resource use: Field and experimental evidence. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32, 12, pp. 1901–1912. <https://doi.org/10.1002/aqc.3894>.
 - Ujvári, I. (1972). *Geografia apelor României*. Editura Științifică. București.
 - Ureche, D., Ureche, C., Nicoara, M., și Plavan, G. (2010). The role of macroinvertebrates in diets of fish in River Dambovita, Romania. *SIL Proceedings*, 1922-2010, 30(10), 1582–1586. <https://doi.org/10.1080/03680770.2009.11902380>.
 - Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., și Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A Real

ANEXA 1- Diseminarea rezultatelor

I. Articole ISI publicate ce conțin rezultate ale tezei de doctorat.

1. **Rusu, A.**, Maxim, R., Nicoară, M., Plavan, I. G., Ureche, D. (2025). The trophic niches of fish species from the Neajlov River Basin: dietary diversity assessment. *Present Environment and Sustainable Development*, (F.I.=0,5; zona gri/Q3 pentru Geography).

II. Articole ISI publicate în domeniul tezei de doctorat.

1. Maxim, R.; **Rusu, A.**; Nicoara, M. N.; Jijie, R.; Olaru, S. M.; Cocean, A.; Garofalide, S.; Cocean, I.; Gurlui, S.; Cristache, I. D.; Ureche, D. Two Decades of Plastic Exposure in Freshwater Fishes from Romania. *Preprints* 2025, 2025042141. <https://doi.org/10.20944/preprints202504.2141.v1>.

2. Maxim, R., **Rusu, A.**, Nicoară, M., Plavan, G., Ureche, D. (2025). Comparative analysis of the trophic spectra of six fish species sympatric in the Oituz River basin. *Present Environment and Sustainable Development*, (F.I.=0,5; zona gri/Q3 pentru Geography).

III. Alte articole ISI

1. Paduraru, E., Iacob, D., Rarinca, V., **Rusu, A.**, Jijie, R., Ilie, O.-D., Ciobica, A., Nicoară, M., Doroftei, B. (2022). Comprehensive Review Regarding Mercury Poisoning and Its Complex Involvement în Alzheimer's Disease, *International Journal of Molecular Sciences*. 23, no. 4: 1992. <https://doi.org/10.3390/ijms23041992> (F.I.=5,6; zona roșie/Q1 pentru Biochemistry and Molecular Biology) Certificat of publication-Highly Cited Papers of IJMS în 2022.

IV. Articole indexate BDI care includ rezultate obținute în cadrul tezei de doctorat.

1. **Rusu, A.**; Maxim, R.; Ureche, D.; Plavan, G.-I.; Cojocaru, I.; Nicoară M. (2025) The trophic spectra of *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) and *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) fish species from Dâmbovnic River (Neajlov/Danube Basin).

Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research , 27.1 The Wetlands Diversity pp.25-32. https://magazines.ulbsibiu.ro/trser/trser27/trser_27.1-2025-25-32.pdf.

V. Articole indexate BDI publicate în cadrul aceluiași domeniu științific.

1. Maxim, R.; **Rusu, A.**; Plavan, G.-I.; Ureche, D.; Cojocaru, I.; Nicoara, M. (2024) Feeding ecology of *Squalius cephalus* population from river Oituz, Scientific Study & Research. Biology, 33, 2, pp. 31-34. <https://doi.org/10.29081/scsb.2024.33.2.05>.

VI. Participări la manifestări științifice internaționale

1. **Angelica Rusu**, Roxana Maxim, Gabriel Plăvan, Dorel Ureche, Viorica Rarinca, Mircea Nicoară, prezentare orală cu titlul “The trophic spectrum of certain fish species from the Rancaciov river”, International Conference on Innovation and Recent Trends in Engineering and Science”, 10-11 iunie 2023.

2. Roxana Maxim, **Angelica Rusu**, Gabriel-Ionut Plavan, Dorel Ureche, Ion Cojocaru, Mircea Nicoară, prezentare orală cu titlul „Feeding ecology of fish populations from River Oituz”, International Conference on Innovation and Recent Trends in Engineering and Science”, 10-11 iunie 2023.

3. Viorica Rarinca, Gabriel Plăvan, **Angelica Rusu**, Alin Ciobica, Mircea Nicoară, prezentare orală cu titlul “Zebrafish as a model to study the effects of environmental concentrations of antibiotics”, International Conference on Innovation and Recent Trends in Engineering and Science”, 10-11 iunie 2023.

4. **Angelica Rusu**, Gabriel Plavan, Dorel Ureche, Ion Cojocaru, Mircea Nicoară, ”Plastic particle ingestion by wild freshwater fish: a critical review”, The 16th Edition of Present Environment and Sustainable Development International Conference, Iași, Romania, 18 June, 2021.

5. **Angelica Rusu**, Gabriel Plavan, Dorel Ureche, Ion Cojocaru, Mircea Nicoara. The trophic spectrum of the mediterranean barbel (*Barbus meridionalis petenyi*) population in the Trotus river basin. The 15th Edition of Present Environment and Sustainable Development International Conference, Iași, Romania, 21 November, 2020.

VII. Participări la manifestări științifice naționale.

1. **Rusu Angelica**, Maxim Roxana, Ureche Dorel, Plavan Gabriel, Nicoară Mircea, poster cu titlul “The trophic spectrum of certain fish species from the Dambovnic River”, Conferință națională cu participare internațională “Natural sciences in the dialogue of generations”, Ediția a VII-a, Septembrie 12-13, 2024, Chișinău,

Republica Moldova.

2. **Angelica Rusu**, Roxana Maxim, Dorel Ureche, Gabriel Plavan, Viorica Rarinca, Ion Cojocaru, Mircea Nicoară, poster cu titlul „The trophic spectrum of certain fish species from the Doamnei River”, Conferința națională cu participare internațională „Ecologia și Protecția Ecosistemelor”, Ediția a XIV-a, November 2-4, 2023, Bacau, Romania.

3. Roxana Maxim, **Angelica Rusu**, Gabriel-Ionut Plavan, Dorel Ureche, Ion Cojocaru, Mircea Nicoară, poster cu titlul „Feeding ecology of *Phoxinus phoxinus* populations from River Oituz”, Conferința națională cu participare internațională „Ecologia și Protecția Ecosistemelor”, Ediția a XIV-a, November 2-4, 2023, Bacau, Romania.

4. Maxim, R.; **Rusu, A.**; Plăvan, G.; Nicoară, M. Ingestion of polystyrene-like microplastics can have harmful effects on fish growth, development, and reproduction. Simpozionul Național Studentesc „Mihai David”, ediția a XI-a, 4-5 Martie 2022, Iași.