

Studiul îndepărtării microplasticelor prin sedimentare

Autor Barbu Andreea¹, Daniela Simina Stefan²

- ¹. Student Masterand -Anul II, Master Ingineria Mediului, Departamentul de Chimie Analitică și Ingineria Mediului, Facultatea de Inginerie Chimică și Biotehnologii, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
- ². Coordonator – Profesor Habilitat Doctor Inginer, Specializarea Ingineria Mediului, Departamentul de Chimie Analitică și Ingineria Chimică, Facultatea de Inginerie Chimică și Biotehnologii, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București

Rezumat

Microplasticele, particule de material plastic cu dimensiuni mai mici de 5 mm, au devenit un poluant emergent major în mediul înconjurător. Poluarea cu microplastice reprezintă o provocare semnificativă pentru mediu, subliniind necesitatea unor metode îmbunătățite de tratare a apei. Acest studiu investighează îndepărtarea a două fracțiuni de microplastice poliuretanică cu dimensiuni cuprinse între 200 μm și 500 μm și dimensiuni mai mici de 100 μm din soluții apoase ce au concentrația de 0,2 g/L. În prima etapă a studiului s-au făcut teste pentru identificarea dozelor optime de reactivi eficienți în îndepărtarea microplasticelor utilizând metoda clasică, testul Jar, prin urmărirea turbidității și a eficienței de îndepărtare a acestora în prezența unor coagulanți clasici precum sulfatul de aluminiu, SA, sulfatul feros, SF, policlorurii de aluminiu (PA), a unui floclant de tip aloe vera și a unui adsorbant clasic, cărbunele activ, CA, de tip Norit GAC 830 W. Utilizarea cărbunelui activ este eficientă dacă se utilizează singur sau în combinație cu sulfat de aluminiu. Utilizarea Aloe Vera asigură eficiență crescută de îndepărtare a microplasticelor. În etapa a doua a studiului s-a determinat eficiența unei instalații de decantare-filtrare, special concepută pentru îndepărtarea microplasticelor. S-a testat eficiența de îndepărtare a microplasticelor cu dimensiunile menționate mai sus, din soluții sintetice atât cu microplastice simple, cât și cu reactivii în dozele optime identificate conform testului Jar.

Cuvinte cheie: microplastice, spumă poliuretanică, eficiență de îndepărtare, test Jar, sedimentare, coagulare.

1. Introducere

1.1. Noțiuni generale

Cererea și producția de materiale plastice au cunoscut o creștere semnificativă la scară globală. Materialele plastice au devenit o parte integrantă a vieții moderne datorită confortului, accesibilității și proprietăților funcționale. Utilizarea acestora este determinată de mai mulți factori, printre care se numără creșterea populației, urbanizarea, dezvoltarea industrială și progresele tehnologice [1].

Totuși, cererea intensă și ritmul accelerat al producției de materiale plastice au generat provocări semnificative legate de mediu și sustenabilitate. Materialele plastice sunt durabile și rezistente la degradare, contribuind la acumularea lor în mediu, în special în ecosistemele acvatice. Gestionarea necorespunzătoare a deșeurilor și poluarea cu plastic au ridicat îngrijorări cu privire la impactul lor asupra vieții sălbatice, ecosistemelor și sănătății umane [1].

Producția în masă a materialelor plastice a început în jurul anului 1950 datorită proprietăților sale superioare, iar societatea le folosește de aproximativ o sută de ani. În aceste decenii, producția mondială de plastic a crescut de la două milioane de tone în 1950 la 370 de milioane de tone în 2019 și este în continuă creștere. În fiecare an, se estimează că între 4 și 12

milioane de tone de materiale plastice vor pătrunde în mări, iar până în 2050 ar putea exista mai multe plastice decât pești în mare [2].

Materialele plastice pot fi clasificate fie ca materiale plastice „sintetice” (neregenerabile), fie ca materiale plastice „biologice” (regenerabile). Plasticele sintetice provin din țiței, gaze naturale sau cărbune. Plasticele biologice sunt derivate din produse - materiale regenerabile, cum ar fi amidonul, carbohidrații, grăsimile și uleiurile vegetale [3].

Principalele materiale plastice comerciale, în funcție de compoziția chimică și densitatea lor, includ polipropilenă (PP), polietilenă (PE), inclusiv polietilenă de joasă densitate (LDPE), polietilenă de înaltă densitate (HDPE), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS), poliuretan (PU) și policlorură de vinil (PVC) [4]. Cu toate acestea, datorită producției mari și ratei scăzute de recuperare, polietilena este unul dintre cele mai persistente materiale plastice în mediu, iar acumularea sa a condus la o problemă serioasă de poluare [5].

Aproximativ 76% din producția totală de plastice sunt tratate ca deșeu, din care 12% sunt supuse procesului de ardere, 79% sunt îngropate sau eliberate în mediu și doar 9% sunt reciclate [2].

Incinerarea materialelor plastice eliberează în atmosferă monoxid de carbon, dioxine și compuși legați de dioxine și oxizi de azot, ceea ce contribuie la poluarea aerului și incapacitatea de a elimina complet deșeurile de plastic [2].

Se estimează că aproximativ 5,3 până la 14 milioane de tone de deșeuri din plastic gestionate necorespunzător ajung să fie aruncate de-a lungul țărmurilor în fiecare an, din care 10% ajung în hidrosferă și se acumulează în timp [4].

Materialele plastice suferă un proces de descompunere treptată, având ca rezultat formarea de mici fragmente de plastic, prin diferite mecanisme [6]. Acest proces modifică structurile chimice și fizice ale lanțurilor polimerice, descompunându-le în molecule mai mici [7].

Aceste molecule sunt prezente în diferite dimensiuni, putând fi clasificate în 4 categorii în funcție de dimensiunile lor: megaplastice (>50 cm), macroplastice (5-50 cm), mezoplastice (0,5-5 cm) și microplastice (<5 mm) [8].

În anul 2004, Richard Thompson și colaboratorii săi au făcut o descoperire revoluționară a resturilor de plastic în apă și sedimente marine, inventând termenul „microplastice” (MP) [6]. Așadar, prima lucrare privind poluarea marină cu microplastice a fost publicată în 2004. Această lucrare a raportat distribuția spațială a microplasticului în sedimentele de plajă și a evidențiat faptul că acesta a fost ingerat de organismele marine (amfipode, crustacee), afectându-le sănătatea și integritatea ecologică [9].

Așadar, microplasticele sunt fragmente de material plastic cu dimensiuni mai mici de 5 mm care provin din degradarea plasticelor, fie sunt obținute special pentru diverse aplicații, având potențial de acumulare în mediu pe termen lung și constituind o sursă majoră de poluare [3].

Microplasticele au atras atenția comunității științifice, a guvernelor, a organizațiilor neguvernamentale și nu numai. Deși materialele plastice sunt materiale relativ noi, care au început să fie utilizate în a doua jumătate a secolului trecut, producția și utilizarea lor excesivă în diverse produse și industrii au dus la o amenințare semnificativă la adresa mediului [10].

Infiltrarea microplasticelor în diverse componente ale mediului, de la ecosistemele acvatice marine și de apă dulce, până la soluri și atmosferă, atrage atenția asupra riscurilor majore pe care acestea le pot reprezenta pentru biodiversitate, funcționarea ecosistemelor și sănătatea oamenilor [1]. Unul dintre cele mai îngrijorătoare aspecte ale microplasticelor este natura lor nebiodegradabilă, acestea rezistând în mediu pentru o perioadă lungă de timp [11].

1.2. Clasificarea microplasticelor

Particulele de microplastice sunt împărțite în două grupuri pe baza dimensiunilor, densităților specifice, compozițiilor chimice și formelor sale diferite. Cele două subcategorii de microplastice, evidențiate în Figura 1 sunt microplastice primare și secundare [12].

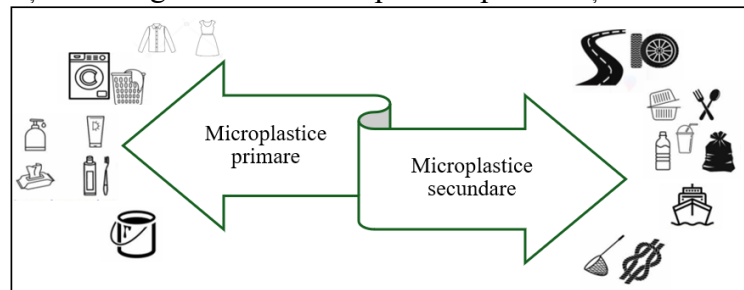


Figura 1. Surse de microplastice primare și secundare, [13]

Microplasticele primare reprezintă microplasticele fabricate pentru aplicații industriale sau personale specifice. Astfel de produse includ granule de plastic utilizate în industria cosmetică, produse de îngrijire personală precum demachiante faciale, pastă de dinți [12]. Acestea sunt compuse în principal din polietilenă, polipropilenă, polistiren, polietilen tereftalat [4].

În medicină și farmacie, capsulele farmaceutice utilizate pentru administrarea unor medicamente conțin adesea polimeri sintetici pentru a controla eliberarea substanțelor active. După consum, o parte din aceste polimeri ajung în sistemele de canalizare [12].

De asemenea, hainele din materiale sintetice precum poliester, nailon și elastan conțin fibre de plastic foarte fine. În timpul spălării, aceste fibre se desprind și ajung în apa uzată [12].

Degradarea acestor microplastice primare în mediu este afectată de mai mulți factori, inclusiv radiațiile ultraviolete, oxidarea, schimbările de temperatură și activitatea microbiană. Acești factori se combină și afectează stabilitatea și rata de degradare a microplasticelor primare din mediu [12].

Microplasticele secundare sunt obținute în urma alterării și degradării materialelor plastice prin acțiune mecanică, chimică sau biologică. Microplasticele secundare sunt eliberate ca urmare a utilizării uneltelor de pescuit, inclusiv a plaselor și a frânghiilor, a degradării pneurilor automobilelor, precum și a uzurii și ruperii ambalajelor din plastic [4].

Microplasticele pot fi clasificate în funcție de formă (Figura 2), astfel: microperle, granule, fibre, pelicule, fragmente și filamente [4].

Formele acestora sunt influențate de următorii parametri: structura inițială a materialului, timpul care intervine în mod direct în procesele de degradare a unui material și condițiile/ mediul în care se află materialul [15].

De asemenea, culoarea este un factor important care afectează organismele acvatice. Microplasticele găsite în probe de apă de mare și în sedimente sunt fie incolore sau albe, în timp ce microplasticele multicolore și negre sunt mai puțin întâlnite. Datorită asemănării culorilor, animalele acvatice pot confunda hrana lor naturală cu microplasticul și îl pot ingera [15].

1.3. Surse și căi de transport ale microplasticelor

Numeroase studii din ultimii ani au demonstrat prezența poluării cu microplastice într-o varietate de medii din întreaga lume, inclusiv alimente, apă îmbuteliată, apă de la robinet, apă uzată, apă de mare, terenuri agricole și sol. Microplasticele au fost descoperite în apă îmbuteliată și în sursele de apă subterană. S-au identificat microplastice în apa din diverse recipiente, inclusiv din plastic, sticlă și alte ambalaje pentru băuturi [16].

Microplasticele detectate în apa îmbuteliată, provin fie din sticlă și capac, fie din microplasticele din sursa inițială de apă [17].

Majoritatea acestor microplastice sunt fie eliberate direct, fie indirect în medii precum oceanul, așa cum se arată în Figura 3 [12].

Ciclul de viață al microplasticelor, care implică bioacumularea începe cu eliberarea de microplastice primare sau secundare în ecosistemele terestre și acvatice, urmată de transportul lor în sistemele de apă [10].

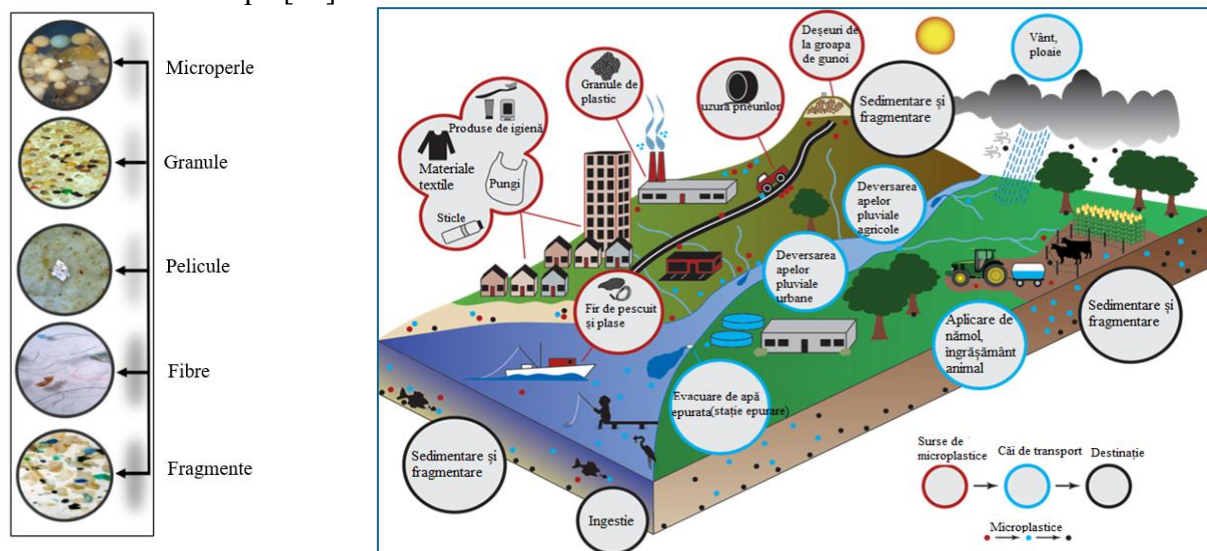


Figura 2. Tipuri de particule microplastice, [14] Figura 3. Surse de microplastice. Căi de transport. Destinații, [18]

În mediul înconjurător, microplasticele pot fi transportate prin curenți atmosferici sau acvatice, în funcție de greutatea și densitatea lor. Ploile, scurgerile de suprafață și circulația oceanică sunt rutele posibile care transferă microplasticele de la nivelul solului în apă. În plus, microplasticele mai ușoare și cu dimensiuni mai mici pot fi transportate de vânt în aer și, prin urmare, pot ajunge în zone îndepărtate, cum ar fi zonele glaciare și munții înalți [4].

S-a demonstrat faptul că factorii precum locația, vântul, curenții și debitul afectează concentrația de microplastice, precum și distribuția în sedimente, coloane de apă și suprafețe de apă [19]. Odată ajuns în mare, materialul plastic poate fi prins de curenții oceanici și transportat în largul mării [20].

După ce ajung în diverse părți ale mediului, microplasticele au următoarele destinații: fie se fragmentează și se sedimentează, fie sunt ingerate de animale acvatice. Destinația finală a microplasticelor este corpul unei ființe vii sau o zonă de mediu [18].

1.4. Impactul microplasticelor asupra mediului și sănătății umane

Impactul poluării cu microplastice a fost explorat de o varietate de discipline, inclusiv biologia, chimia solului, ecologia microbială, știința plantelor și toxicologia mediului [21].

Prezența pe scară largă a microplasticelor în mediile acvatice a dus la o preocupare crescută cu privire la efectele lor dăunătoare asupra vieții marine. Aceste particule sunt detectate în întreaga coloană de apă, de la apele de suprafață până în adâncurile mării, în atmosferă și sol (Figura 4), prezentând astfel un risc substanțial pentru viața acvatică [12].

Microplasticele sunt răspândite în mediul marin datorită proceselor hidrodinamice și transportului de către vânt și curenții oceanici, ceea ce a contribuit la o preocupare științifică exponențială în ultimele decenii. Aproximativ 70 % din deșeurile marine din plastic sunt depuse în sedimente, 15 % plutesc în zonele de coastă, iar restul plutesc la suprafața apei de mare [23].

Microplasticele pot acționa ca purtători ai unor substanțe chimice nocive, inclusiv metale grele, poluanți organici și plastifianți [24]. Eliberarea acestor contaminanți în apele subterane, prezintă pericole cronice pentru sănătatea publică [25].

Ingestia microplasticelor de către organisme marine, precum peștii și creveții, poate avea efecte dăunătoare asupra funcțiilor fiziologice ale acestora. Microplasticele cu margini ascuțite pot provoca leziuni mecanice în tractul digestiv, conducând la inflamații [24].

Vulnerabilitatea organismelor marine la efectele dăunătoare ale microplasticelor se extinde și asupra etapelor critice ale ciclului lor de viață. Substanțele chimice conținute în microplastice pot interfera cu dezvoltarea embrionară, pot perturba echilibrul hormonal și pot compromite sănătatea organismelor marine [24].

Interacțiunea dintre apele subterane și sol a devenit o modalitate decisivă pentru soarta și migrarea microplasticelor în apele subterane. În unele cazuri, depozitele de deșuri care conțin concentrații ridicate de microplastice pot fi infiltrate în corpurile de apă de suprafață fără o gestionare adecvată, ceea ce duce la percolarea lor în apele subterane și la intensificarea pericolelor asociate. Microplasticele împiedică mișcarea și dezvoltarea formelor vii de plante, modifică caracteristicile solului și au efecte negative asupra creșterii plantelor [25].

Microplasticele din aer au potențialul de a afecta atât ecosistemele acvatice, cât și pe cele terestre. Mai mult, microplasticele provenite din diverse medii pot interacționa dinamic între ele. Vântul poate transporta cu ușurință microplasticele care se atașează de particulele de praf sau de sol și pot fi reintroduse în mediu [26].

Prezența microplasticelor în multiple matrici de mediu prezintă motive de îngrijorare pentru sănătatea umană [27]. Înțelegerea principalelor căi prin care oamenii pot fi expuși la microplastice este esențială. Ingestia, inhalarea și contactul cutanat reprezintă cele mai frecvente rute de expunere, dintre care ingestia este considerată cea mai importantă [28].

Microplasticele odată pătrunse în organism interacționează cu structurile histologice (Figura 5), afectând fizic structurile în sine sau integrându-se în ele. Microplasticele care nu sunt absorbite de organism sunt în general eliminate, fără a produce efecte semnificative. În schimb, cele care pătrund în organism pot fi distribuite către diverse organe și țesuturi, acumulându-se la nivel celular. Aceste particule pot afecta structura și funcționarea celulelor, fiind transportate prin fluxul sanguin către organe vitale, inclusiv inima. Pe parcursul acestui proces, ele pot declanșa reacții adverse, inclusiv posibile efecte negative asupra sistemului cardiovascular [27].

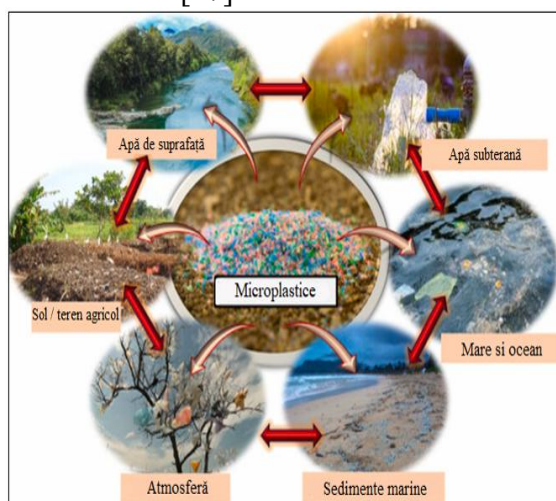


Figura 4. Impactul microplasticelor asupra mediului, [22]

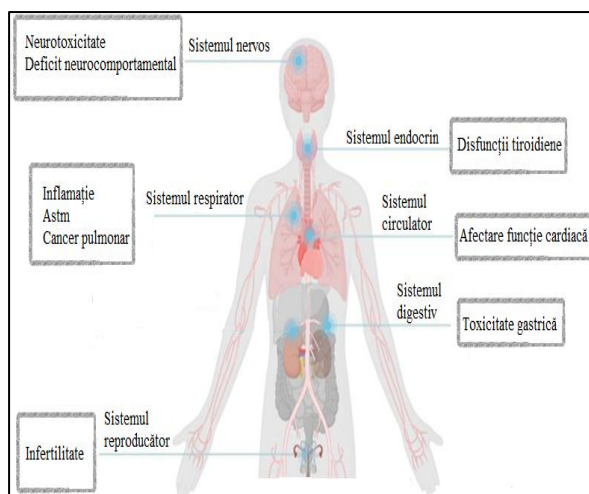


Figura 5. Impactul microplasticelor asupra sănătății umane, [29]

Microplasticele pătrund în corpul uman prin sistemul digestiv, respirator și prin sistemele pielii. Printre acestea, căile de intrare în sistemul digestiv sunt diverse, incluzând alimentele, aerul și apa de băut. Fructele de mare sunt alimentele care conțin niveluri crescute de microplastice [30].

Microplasticele pot provoca modificări în microbiomul intestinal, ducând la un dezechilibru între microorganismele benefice și dăunătoare, ceea ce poate avea un impact negativ asupra tractului gastrointestinal și a întregului organism. Pe lângă efectele lor fizice asupra sistemului digestiv, microplasticele pot provoca toxicitate chimică, care implică absorbția și acumularea de metale grele și hidrocarburi policiclice aromatice. Aceste substanțe toxice pot pătrunde în organism prin tractul gastrointestinal atunci când microplasticele sunt ingerate, ducând la diferite simptome gastrointestinale, inclusiv greață, vărsături și dureri abdominale [31].

De asemenea, microplasticele pot acționa ca purtători de substanțe nocive datorită suprafeței lor specifice, transportând toxine, agenți patogeni în tractul gastrointestinal și afectând compoziția microbiană [30].

În ceea ce privește efectele asupra sistemului respirator, microplasticele pot provoca stres oxidativ în căile respiratorii și plămâni atunci când sunt inhalate, conducând la apariția unor simptome respiratorii precum tuse, strănut și dificultăți de respirație din cauza inflamației și leziunilor, precum și amețeli din cauza unei concentrații scăzute de oxigen în sânge [31].

În plus, microplasticele interferează cu producerea, eliberarea, transportul, metabolismul și eliminarea hormonilor, ceea ce poate provoca tulburări endocrine, metabolice, de reproducere (infertilitate, avort spontan și malformații congenitale). Microplasticele pot acționa ca un intermediar pentru substanțele toxice din mediu (bisfenol A), care sunt absorbite în organism și provoacă diverse boli ale sistemului endocrin și ale sistemului reproducător [31].

Expunerea la microplastice este asociată cu boli reumatice autoimune și lupus sistemic eritematos. De asemenea, microplasticele accelerează hemoliza și favorizează producerea unei molecule care promovează inflamația. Aceste consecințe negative depind în mare măsură de nivelul de expunere la aceste particule și de sensibilitatea individului [32].

În studiul de față s-a urmărit îndepărtarea din soluții apoase cu concentrația de 0,2 g/l, a două fracțiuni de microplastice poliuretanică cu dimensiuni cuprinse între 200 μm și 500 μm și dimensiuni mai mici de 100 μm. În prima etapă a studiului s-au făcut teste pentru identificarea dozelor optime de reactivi eficienți în îndepărtarea microplasticilor utilizând metoda clasică, testul Jar. În această etapă s-a urmărit variația turbidității și a eficienței de îndepărtare a acestora în prezența unor coagulanți clasici precum sulfatul de aluminiu, SA, sulfatul feros, SF, policlorurii de aluminiu (PA), a unui floculant de tip aloe vera și a unui adsorbant clasic, cărbunele activ AC, de tip Norit GAC 830 W.

În etapa a doua a studiului s-a determinat eficiența unei instalații de decantare - filtrare, multicompartimentată, special concepută pentru îndepărtarea microplasticilor. S-a testat eficiența de îndepărtare a microplasticilor cu dimensiunile menționate mai sus, din soluții sintetice doar cu microplastice simple, dar și cu reactivii în dozele optime identificate conform testului Jar.

2. Materiale și Metode

2.1. Pregătirea materialelor

2.1.1. Microplasticele

Probele de microplastice utilizate în studiu s-au obținut din spumă poliuretanică prin pilire și mojarare. S-au obținut particule fine de diverse dimensiuni. Separarea pe fracțiuni granulometrice s-a realizat folosind un sistem de sitare cu dimensiunea ochiurilor de 2 mm, 1 mm, 500 μm, 200 μm, respectiv 100 μm, prezentate în Figura 6.



Figura 6. Separare granulometrică a materialului plastic

2.1.2. Reactivii chimici

Coagulanții utilizați în cadrul acestui studiu: sulfat de aluminiu, sulfat feros și policlorură de aluminiu, compuși frecvent utilizați ca agenți de coagulare în procesele de tratare a apei, au fost furnizați de compania Sigma Aldrich. Dozele de coagulanți utilizate au fost următoarele: 20, 40 și 60 mg/L.

Pentru a crește eficiența procesului de sedimentare s-a utilizat gel de Aloe Vera, AV. În studiile de literatură s-a evidențiat faptul că AV, chiar și în doze mici, poate scăpa apa foarte încărcată de materialele în suspensie, deci de turbiditate. Pentru doze optime, procente de reducere pot atinge 72% pentru turbiditate și 91% pentru materiile în suspensie. Aloe vera conține grupe fitochimice precum taninuri, saponine, mucilagiu, flavonoide, derivați de antracen, derivați de chinonă și proteine. Așadar, gelul de Aloe vera conține compuși chimici care pot aglomera particulele fine în suspensie și favoriza formarea flocoanelor mari și sedimentabile. Utilizarea Aloe vera este o posibilă alternativă la floculanții chimici pentru tratarea apei contaminată cu microplastice [33].

Gelul de Aloe Vera utilizat în studiu a fost prelevat dintr-o plantă de Aloe Vera din laboratorul de cercetare. Frunzele de Aloe Vera au fost tăiate, s-a scos gelul, care a fost mojarat, filtrat și dozat în soluțiile sintetice cu conținut de microplastice. Dozele de aloe vera utilizate au fost de 1-3 g/L.

Cărbunele activ de tip Norit GAC 830 W a fost utilizat ca adsorbant fiind recunoscut pentru eficiența sa ridicată în procesele de adsorbție fizică datorită suprafeței specifice extinse și porozității ridicate [34]. Doza de cărbune activ a fost de 0,5 g/L.

Specificațiile tehnice ale cărbunelui activ Norit GAC 830 W sunt evidențiate în Tabelul 1:

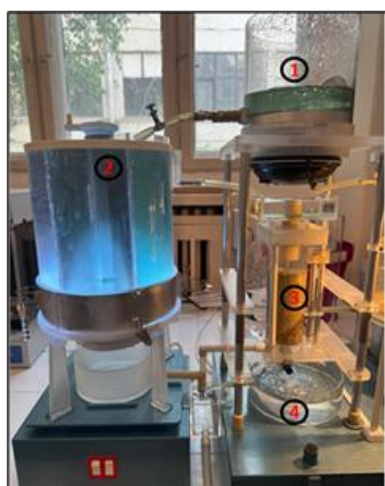
Tabelul 1. Specificațiile tehnice ale cărbunelui activ Norit GAC 830 W, [34]

Nr. crt.	Specificații tehnice	Cărbune activ tip Norit GAC 830 W
1	Granule > 2,36 mm	Maxim 15% din masa totală
2	Granule < 0,6 mm	Maxim 5% din masa totală
3	Umiditate	Maxim 5%
4	Putere de adsorbție	957 (mg/g)
5	Adsorbție de albastru de metilen	20 g / 100 g
6	Conținut de cenușă	12%
7	Suprafață specifică totală	1100 m ² /g
8	Densitate aparentă	500 kg/m ³

Cărbunele activ este cărbune biologic care a fost supus unor procese chimice sau fizice folosind căldură și alți agenți chimici. În ultimii 10 ani, 28% din articolele publicate au vizat utilizarea cărbunelui activ ca adsorbant pentru a elimina microplasticele din apele reziduale. Cărbunele activ reține microplasticele prin mecanisme de adsorbție fizică, beneficiind de suprafața sa extinsă și structura poroasă, care oferă numeroase situsuri active pentru fixarea acestora. Procesul de adsorbție este favorizat de interacțiuni hidrofobe și forțe van der Waals între microplastice și suprafața cărbunelui activ [35].

2.2. Instalația de decantare - filtrare

Pentru studiul eficienței de îndepărtare a microplasticelor poliuretanice s-a utilizat o instalație de decantare și filtrare microplastice, evidențiată în Figurile 7 și 8. Această instalație a fost concepută special pentru îndepărtarea microplasticelor. Aceasta funcționează în regim continuu și conține 4 componente: un rezervor de apă brută, un decantor cu șase compartimente, (incinte), un filtru cu nisip cuarțos și un rezervor cu apă tratată.



Legenda
1 - rezervor de apă brută;
2 - decantor compartimentat cu 6 incinte;
3 - filtru cu nisip cuarțos;
4 - rezervor de apă tratată.

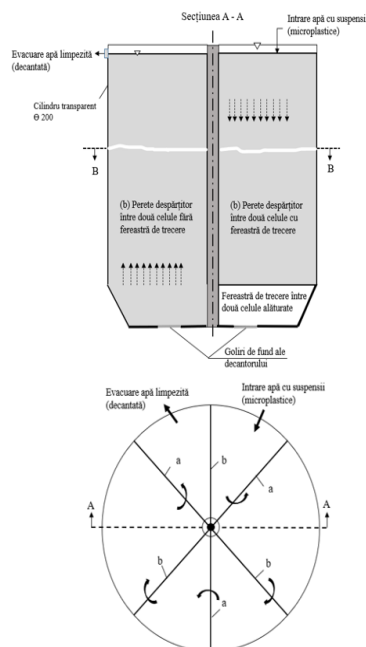


Figura 7. Instalația de decantare și filtrare microplastice *Figura 8. Detaliu al decantorului multicameral al instalației de decantare și filtrare microplastice*

Soluțiile sintetice cu microplastice, precum și microplastice cu SA și respectiv AV au fost introduse în rezervorul de apă brută și dozate cu debite variabile cuprinse între 4,5 și 1,5 L/h. Soluțiile sintetice au fost trecute prin compartimentele decantorului. Din fiecare compartiment au fost prelevate probe pentru care s-a determinat turbiditatea reziduală din supernatant. Apa a fost introdusă, în final, în filtrul cu nisip cuarțos. S-a determinat turbiditatea și în proba de apă din rezervorul de apă tratată.

2.3. Metodele de analiză utilizate

Pentru identificarea polimerului din care au fost obținute microplasticele s-a utilizat analiza spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR) folosind un spectrometru Nicolet IS50FT-IR (Nicolet, Massachusetts, SUA) echipat cu un detector DTGS care oferă informații cu o sensibilitate ridicată în intervalul de 4000 cm^{-1} și 100 cm^{-1} la o rezoluție de 4 cm^{-1} . Spectrul IR este prezentat în Figura 11.

Turbiditatea s-a determinat utilizând un turbidimetru HACH 2100P 150 evidențiat în Figura 9. Valorile numerice ale turbidității inițiale au fost cuprinse între 130 – 200 NTU.

2.4. Testul Jar

Pentru determinarea dozelor optime de reactivi s-a utilizat testul Jar VELP Scientifica F105A0117 FP4 prezentat în Figura 10.



Figura 9. HACH 2100P 150 Turbidimetru



Figura 10. Testul Jar VELP Scientifica F105A0117 FP4

Testul Jar este echipat cu patru tije de agitare și patru pahare de 1 litru. Viteza și timpul de agitare se pot seta cu ajutorul unor butoane amplasate pe panoul frontal. Probele examinate pot fi iluminate de o lampă fluorescentă controlată de un comutator situat pe panoul frontal [36].

S-au preparat soluții sintetice de concentrație 0,2 g microplastice/L. S-au utilizat următorii coagulanți: sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, sulfat feros FeSO_4 , policlorură de aluminiu – Zactoclar, cu valori ale concentrațiilor variind între 20 - 60 mg/L, AV cu doze între 1-3 g/L, cărbune activ 0, 5g/L. Probele au fost supuse agitării folosind testul Jar, timp de 10 min / 200 rpm și 5 min / 100 rpm. După citirea turbidității inițiale probele au fost lăsate în repaus pentru decantare. Timpul de retenție a fost de 60 minute, timp în care s-a măsurat turbiditatea din supernatant, la diferite intervale de timp. Reprezentările grafice ale variației eficienței de îndepărtare a turbidității în timp sunt prezentate în Figurile 12-14.

3. Rezultate experimentale și discuții

3.1. Identificarea polimerului din care sunt constituite microplasticele

Una dintre cele mai eficiente metode de caracterizare chimică este spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier (FTIR). FTIR este o tehnică analitică de spectroscopie utilizată pe scară largă pentru identificarea materialelor organice. Aceasta a câștigat recent popularitate în cercetarea poluării cu microplastice pentru a determina compoziția chimică a fragmentelor necunoscute de plastic cu o fiabilitate ridicată, comparând spectrul IR al unei probe necunoscute de plastic cu spectre ale polimerilor cunoscuți [37].

Spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier este o metodă cu ajutorul căreia se identifică microplasticele prin detectarea vârfurilor spectrale caracteristice asociate cu diferiți polimeri [38].

Analiza FTIR este prezentată în Figura 11.

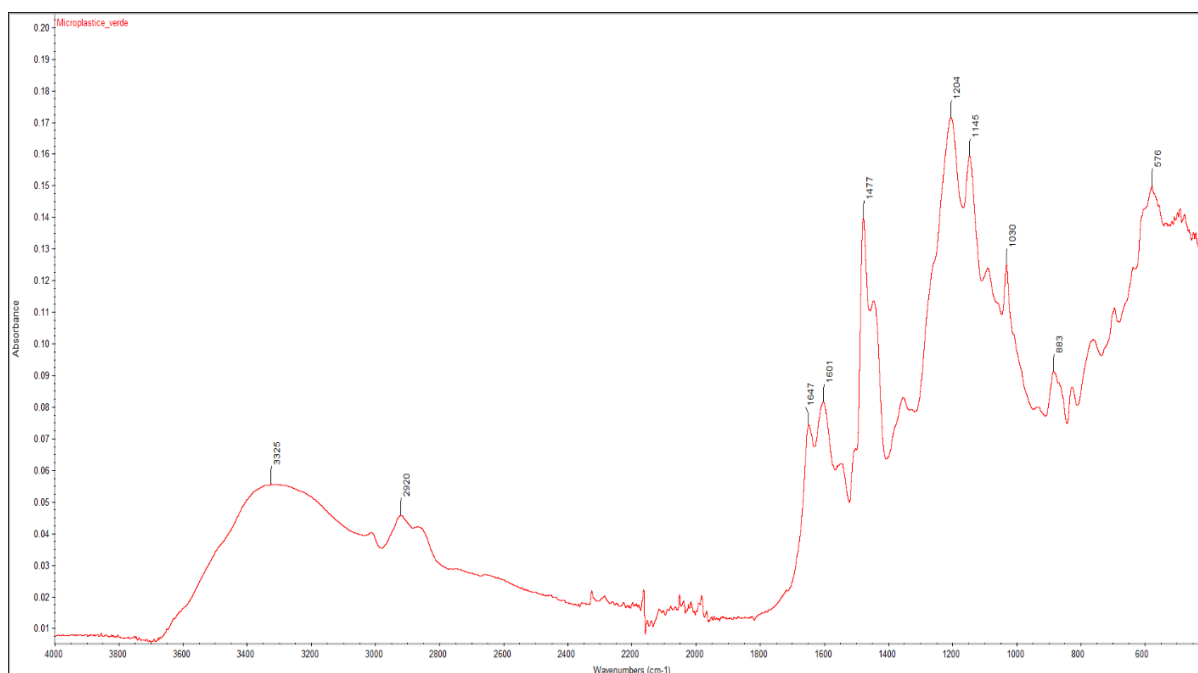


Figura 11. Analiză FTIR a polimerului care stă la baza producerii de microplastice - spumă poliuretanică

Din analiza spectrului IR se pot observa următoarele picuri caracteristice:

- picul de la 3325 cm^{-1} este specific vibrației grupării uretanice ($-\text{NH}-\text{COO}-$) din segmentul greu;
- picul de la 2920 cm^{-1} sunt atribuite întinderii C-N aromatice;
- picul de la 1647 cm^{-1} este atribuit întinderii legăturii C=O a grupării ester;
- picurile de la 1601 și 1477 cm^{-1} indică prezența vibrației de întindere C=C a inelelor de benzen;
- picurile caracteristice legăturii C-O ale grupului ester sunt evidențiate la 1204 cm^{-1} , respectiv, 1030 cm^{-1} ;
- picul de la 883 cm^{-1} este caracteristic vibrației de încovoiere C-H a ciclului de benzen substituit;
- picul de la 576 cm^{-1} sunt specifice legăturilor C-H substituite.

Toate aceste semnale confirmă natura poliuretanică a materialului plastic.

Spuma poliuretanică este un polimer sintetic larg utilizat în izolații, ambalaje, construcții și mobilier. În contextul poluării cu microplastice este esențială identificarea acestui material în mediu. Spuma poliuretanică este un copolimer alcătuit dintr-un segment greu (rigid) care conține grupări uretanice ($-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$) și structuri aromatice (nucleu benzenic), oferind rigiditate și stabilitate mecanică și un segment ușor (moale) format din lanțuri alifaticе lungi și grupări eterice, esterice, care conferă flexibilitate și elasticitate.

3.2. Testul Jar – Determinarea dozelor optime de reactivi

3.2.1. Identificarea dozelor optime de coagulanți

În Figurile 12 a-d sunt prezentate variațiile turbidității microplasticelor cu dimensiuni $200\text{ }\mu\text{m} < D < 500\text{ }\mu\text{m}$, respectiv dimensiuni $D < 100\text{ }\mu\text{m}$ în prezența a diferiți coagulanți precum sulfat de aluminiu, policlorura de aluminiu, sulfat feros de diverse concentrații.

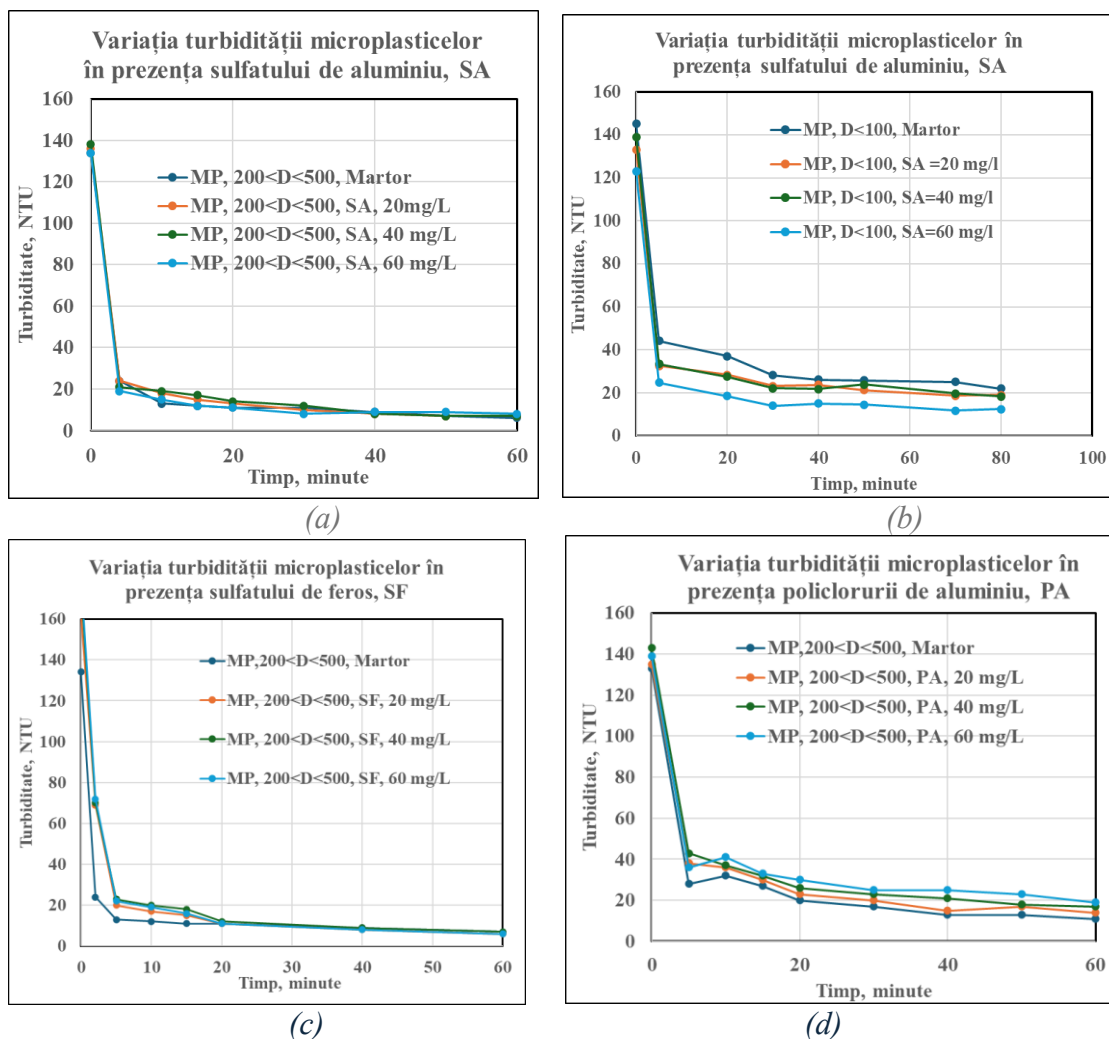


Figura 12. Variația turbidității microplasticelor cu diverse dimensiuni în prezența a diferiți coagulanți: a. sulfat de aluminiu, $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$, b. sulfat de aluminiu, $D < 100\ \mu\text{m}$, c. policlorura de aluminiu, sulfat de aluminiu, $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$ d. sulfat feros, sulfat de aluminiu, $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$

Din analiza Figurii 12a, se poate observa că doza optimă necesară să asigure o decantare eficientă a particulelor de microplastice cu dimensiuni $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$ este de 60 mg/L sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, asigurând o turbiditate reziduală de 6 NTU la un timp de retenție de 60 de minute. Această doză a fost utilizată și în cazul testelor efectuate pe instalația de decantare-filtrare.

Doza optimă de sulfat de aluminiu necesară să asigure o decantare eficientă a particulelor de microplastice cu dimensiuni $D < 100\ \mu\text{m}$, este de 60 mg/L asigurând o turbiditate reziduală de 12 NTU la un timp de retenție de 80 de minute după cum se poate observa în Figura 12b.

Eficiența policlorurii de aluminiu, PA, este mai scăzută decât în cazul SA, în conformitate cu Figura 12c, doza optimă necesară să asigure o decantare eficientă a particulelor de microplastice cu dimensiuni $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$ este de 20 mg/L, asigurând o turbiditate reziduală de 14 NTU la un timp de retenție de 60 de minute. Doza optimă de sulfat feros necesară să asigure o decantare eficientă a particulelor de microplastice cu dimensiuni $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$, este de 20 mg/L, conform Figurii 12d, care asigură o turbiditate reziduală de 6 NTU la un timp de retenție de 60 de minute.

3.2.2. Identificarea dozei optime de Aloe Vera

Această etapă constă în identificarea influenței unor floclanți de a reduce turbiditatea apei contaminate, prin promovarea agregării particulelor în suspensie și facilitarea proceselor de separare solid-lichid în vederea optimizării procesului de îndepărtare a microplasticelor poliuretane.

Pentru a optimiza procesul de îndepărtare a microplasticelor, s-a adăugat în soluție, suplimentar față de coagulantul sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de concentrație 60 mg/L, gel de aloe vera, floclant natural, în diverse cantități pentru determinarea dozei optime care să asigure o reducere semnificativă a turbidității.

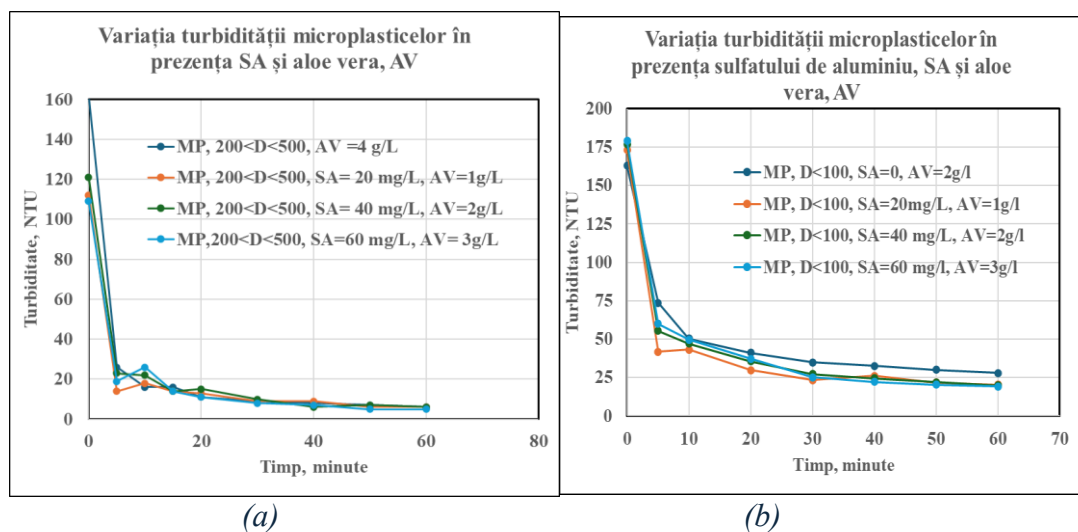
Din analiza Figurii 13a se poate observa că doza optimă necesară îndepărtării particulelor de microplastice cu dimensiuni $200 \mu\text{m} < D < 500 \mu\text{m}$ este de 60 mg/L sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ combinat cu gel de Aloe Vera ce are concentrația egală cu 3 g/L, asigurând o turbiditate reziduală de 5 NTU la un timp de retenție de 60 de minute. Așadar, combinația dintre SA (coagulant clasic) și gelul AV (floclant natural) prezintă o eficiență ridicată în reducerea turbidității. Doza optimă necesară îndepărtării particulelor de microplastice cu dimensiuni $D < 100 \mu\text{m}$ este de 60 mg/L sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ combinat cu gel de Aloe Vera ce are concentrația egală cu 3 g/L conform cu Figura 13b.

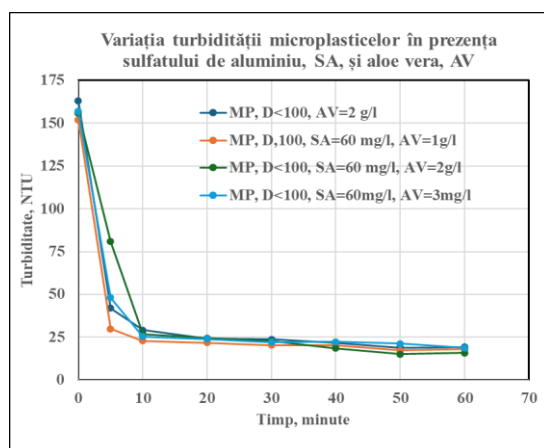
În Figura 13c se poate observa că doza optimă necesară îndepărtării particulelor de microplastice cu dimensiuni $D < 100 \mu\text{m}$ este de 60 mg/L sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ combinat cu gel de Aloe Vera ce are concentrația egală cu 2 g/L.

3.2.3. Identificarea eficienței cărbunelui activ

S-a testat eficiența cărbunelui activ granular asupra îndepărtării microplasticelor din soluții sintetice. S-au preparat soluții în care s-au adăugat: cărbune activ $c = 0,5 \text{ g/L}$, sulfat de aluminiu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de concentrație 60 mg/L, precum și gel de Aloe Vera de diverse concentrații.

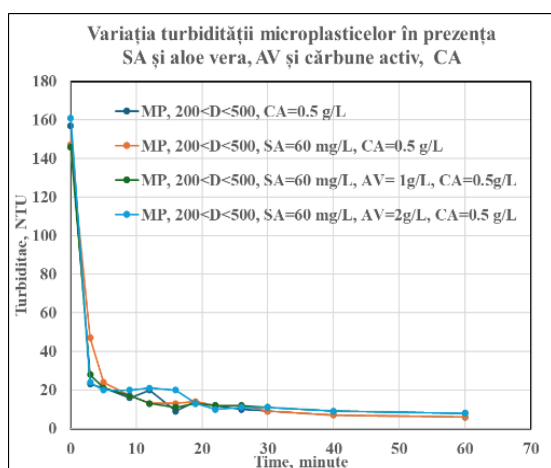
În conformitate cu Figura 14, dozele optime necesare să asigure o decantare eficientă a particulelor de microplastice cu dimensiuni $200 \mu\text{m} < D < 500 \mu\text{m}$ pentru sistemul cărbune activ, 0,5 g/L, și SA cu concentrația de 60 mg/L asigură o turbiditate reziduală de 6 NTU la un timp de retenție de 60 de minute. Combinația dintre sulfatul de aluminiu (coagulant clasic) și cărbune activ (adsorbant) s-a dovedit eficientă în reducerea turbidității provocate de microplastice, în vreme ce combinația dintre gelul de Aloe Vera și cărbune activ nu este o soluție eficientă.



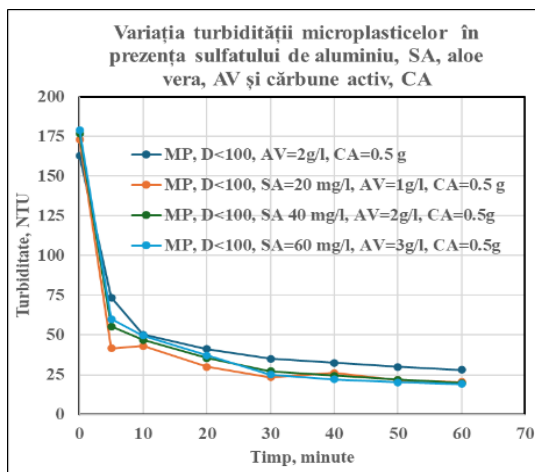


(c)

Figura 13. Variația turbidității microplasticelor cu diverse dimensiuni în prezența sulfatului de aluminiu și aloe vera: a. $200 < D < 500$, b. $D < 100$, c. $D < 100$



(a)



(b)

Figura 14. Variația turbidității microplasticelor cu diverse dimensiuni în prezența sulfatului de aluminiu, aloe vera și cărbune activ: a. $200 < D < 500$, b. $D < 100$

3.3. Studiul eficienței instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor

Pentru a studia eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor s-au luat în lucru probe de apă sintetică cu microplastice de dimensiuni cuprinse între $200 \mu\text{m}$ și $500 \mu\text{m}$, respectiv microplastice de dimensiuni mai mici de $100 \mu\text{m}$. S-a stabilit un debit de lucru la care să funcționeze instalația, debit ce a fost redus treptat pe parcursul experimentului. S-au recoltat probe de apă contaminată din fiecare compartiment al decantorului, respectiv din rezervorul de alimentare și rezervorul cu apă tratată. S-au realizat 4 serii de măsurători ale turbidității la diferite intervale de timp, aceasta fiind determinată prin cu ajutorul turbidimetrului.

Pe baza rezultatelor numerice ale turbidității s-a calculat eficiența de îndepărtare pentru fiecare incintă în parte, respectiv eficiența filtrului și eficiența totală, obținându-se următoarele valori numerice, prezentate în tabelele 2 – 11.

Conform rezultatelor numerice obținute, instalația constituită dintr-un decantor multicameral și un filtru cuarțos este eficientă în îndepărtarea microplasticelor cu dimensiuni cuprinse între $200 \mu\text{m}$ și $500 \mu\text{m}$, precum și a celor cu dimensiuni mai mici de $100 \mu\text{m}$.

Debitul de alimentare cu apă brută este un parametru foarte important care influențează eficiența instalației. Așa cum era de așteptat o creștere a debitului de alimentare a instalației

determină o scădere a eficienței de îndepărtare a turbidității. Turbiditatea la ieșirea din decantor și la ieșirea din instalație a fost comparată cu valorile impuse de Legislația în vigoare Directiva 2020/2184/EC și Ordonanța 7 din 2023 care impun o limită maximă admisibilă, LMA, a turbidității de 1 NTU.

În cazul utilizării soluțiilor sintetice care au conținut numai microplastice fără alți reactivi s-a constatat că eficiența totală a instalației are valori cuprinse între 98,5 și 99,3% pentru particule cu dimensiuni $200\ \mu\text{m} < D < 500\ \mu\text{m}$ și valori cuprinse între 93,04 și 96,76% pentru particule cu $D < 100\ \mu\text{m}$. Turbiditatea pentru proba de apă încărcată cu microplastice care au dimensiuni mai mici de $500\ \mu\text{m}$ la ieșirea din decantor are valori cuprinse între 6 - 8 NTU, iar după ce apa este trecută prin filtru, turbiditatea are valori cuprinse între 1 - 3 NTU.

Turbiditatea la ieșirea din decantor este comparabilă cu valorile turbidităților la ieșirea din decantoarele industriale utilizate la nivel industrial având valori cuprinse între 5 și 12 NTU pentru un timp de retenție de 60 minute. Decantorul este eficient pentru ambele tipuri de microplastice chiar și în absența coagulanților și floculanților pentru un timp de retenție de 60 de minute. Turbiditatea la ieșirea din filtru are valori mai mari decât LMA ceea ce impune fie o redimensionare a filtrului, care se dovedește a fi subdimensionat, fie creșterea timpului de retenție în decantor sau utilizarea unor coagulanți floculanți.

Pentru optimizarea procesului de îndepărtare a microplasticelor, s-a testat eficiența instalației și pentru soluții sintetice cu coagulanți și floculanți pe baza rezultatelor obținute la testul Jar. Astfel, în cazul particulelor cu dimensiuni cuprinse între 200 și $500\ \mu\text{m}$, D_1 , s-a adăugat SA cu doza optimă de 60 mg/L, iar pentru soluțiile sintetice cu microplastice cu dimensiunea mai mică de $100\ \mu\text{m}$, D_2 , s-a adăugat o doză de 2 g/L de AV.

Prin adăugarea de coagulanți și floculanți, eficiența instalației pentru dimensiunea D_1 a avut un procent de 97 – 99%, fiind comparabilă cu cea obținută anterior, deci nu sunt îmbunătățiri semnificative.

În cazul particulelor cu dimensiunea D_2 se observă că eficiența a crescut semnificativ, ajungând la valori cuprinse între 97,75 și 99,24% pentru proba ce conține microplastice de dimensiuni $D < 100\ \mu\text{m}$ și AV, $c = 2\text{g/L}$, turbiditatea reziduală fiind cuprinsă între 1 și 3 NTU. Valoarea deși este mai mică ca în studiul anterior, ea este mai mare decât LMA. Aloe vera este un floclant natural care ajută la optimizarea procesului de îndepărtare a microplasticelor din apă.

4. Concluzii

Utilizarea cărbunelui activ este eficientă dacă se utilizează singur sau în combinație cu sulfat de aluminiu.

Utilizarea Aloe Vera asigură eficiență crescută de îndepărtare a microplasticelor, combinația Aloe Vera și cărbune activ nu se recomandă.

Microplasticele din soluții sintetice cu dimensiuni D_1 și D_2 pot fi îndepărtate din apa contaminată prin operații de decantare și filtrare, dar eficiența nu este suficient de mare astfel încât turbiditatea să fie sub valorile LMA de 1 NTU.

Utilizarea coagulanților și floculanților clasici: sulfat de aluminiu, sulfat ferros au o eficiență bună asupra îndepărtării microplasticelor, ceea ce poate asigura o turbiditate reziduală de 6, 7 NTU după un timp de retenție de 50 - 60 minute la ieșirea din decantor. Decantorul este eficient atât în cazul soluțiilor sintetice care conțin numai microplastice cât și în cazul soluțiilor sintetice cu diverși reactivi. Operația de filtrare nu este suficient de bine dimensionată pentru a asigura eficiența maximă.

În concluzie, se impune fie identificarea unor coagulanți floculanți mai eficienți pentru a crește mai mult eficiența decantorului, fie redimensionarea filtrului astfel încât să se atingă valorile impuse de legislația în vigoare.

Tabelul 2. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $200 \mu\text{m} < D < 500 \mu\text{m}$, $Q_1 = 4 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	159	1,67	98,95	2,73	98,33	38,16	31,33	42,14	17	9,01	11	3,77	7,67	2,10	6
2	17.00	148	1,00	99,32	4,28	94	36,49	37,67	38,06	24	9,23	15,33	5,86	12,33	2,03	7,33
3	30.00	131,33	2,00	98,48	7,61	80	39,09	27,33	40,10	21,33	4,57	15,67	4,31	10,67	3,81	12,00
4	50.00	137,33	2,03	98,52	5,17	87,33	36,41	28,67	42,72	17,33	8,25	17	0,24	11,83	3,76	9,13

Tabelul 3. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor $200 \mu\text{m} < D < 500 \mu\text{m}$, $Q_2 = 2,37 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	133	1,67	98,75	4,26	66	50,38	18	36,09	15,67	1,75	12,67	2,26	8,33	3,26	7,33
2	20.00	142,67	1,67	98,83	4,21	54	62,15	18	25,23	13,67	3,04	10,33	2,34	7,67	1,87	7,67
3	35.00	144,00	1,00	99,31	4,17	58,33	59,49	14,33	30,56	12,67	1,16	9,67	2,08	8,33	0,93	7
4	50.00	155,33	2,00	98,71	3,65	68	56,22	14,67	34,33	11	2,36	9,67	0,86	7,33	1,50	7,67

Tabelul 4. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $200 \mu\text{m} < D < 500 \mu\text{m}$, $Q_3 = 2,1 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	159,67	3	98,12	2,09	51,33	67,85	14,00	23,38	11	1,88	8	1,88	6,67	0,84	6,33
2	15.00	158,67	2	98,74	2,52	64	59,66	11,67	32,98	9,67	1,26	8	1,05	6,33	1,05	6
3	32.00	177,67	2	98,87	1,69	88,33	50,28	15,33	41,09	12,00	1,88	7,33	2,63	6,33	0,56	5
4	48.00	183	2	98,91	2,55	95,33	47,91	26,67	37,52	17,33	5,10	9,33	4,37	8	0,73	6,67

Tabelul 5. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $D < 100 \mu\text{m}$, $Q_1 = 3,6 \text{ L/h}$

Nr. crt	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	164,33	2,00	96,76	2,03	82,33	49,90	45,00	22,72	17,00	17,04	17,00	0,00	7,33	5,88	5,33

2	165,00	2,67	95,35	3,03	110,67	32,93	43,67	40,61	29,00	8,89	16,67	7,47	12,00	2,83	7,67
3	164,00	3,33	94,31	3,66	110,33	32,72	52,33	35,37	34,67	10,77	19,33	9,35	15,00	2,64	9,33
4	167,67	3,33	93,04	4,97	114,00	32,01	51,00	37,57	37,67	7,95	22,67	8,95	18,67	2,39	11,67

Tabelul 6. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $D < 100 \mu\text{m}$, $Q_2 = 2,11 \text{ L/h}$

Nr. crt	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	173,00	4,00	93,83	3,85	84,00	51,45	36,67	27,36	31,00	3,28	22,67	4,82	16,33	3,66	10,67
2	175,00	4,00	93,71	4,00	85,00	51,43	35,67	28,19	29,00	3,81	21,00	4,57	15,00	3,43	11,00
3	178,00	4,00	94,57	3,18	87,67	50,75	24,33	35,58	23,67	0,37	17,00	3,75	14,67	1,31	9,67
4	183,00	3,33	95,08	3,10	83,00	54,64	22,33	33,15	19,00	1,82	16,00	1,64	12,00	2,19	9,00
5	178,00	3,33	93,82	4,31	90,00	49,44	17,67	40,64	15,00	1,50	14,33	0,37	11,67	1,50	11,00

Tabelul 7. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $D < 100 \mu\text{m}$, $Q_3 = 1,80 \text{ L/h}$

Nr. crt	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtre, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	180,00	4,00	94,82	2,96	74,00	58,89	16,33	32,04	13,33	1,67	11,33	1,11	11,33	0,00	9,33
2	179,33	4,00	95,17	2,60	73,33	59,11	16,67	31,60	11,33	2,97	11,33	0,00	9,67	0,93	8,67
3	194,00	4,00	95,71	2,23	76,00	60,82	16,67	30,58	12,00	2,41	10,33	0,86	10,00	0,17	8,33
4	175,33	3,67	95,25	2,66	72,67	58,56	14,67	33,08	11,67	1,71	10,00	0,95	9,67	0,19	8,33

Tabelul 8. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $D < 100 \mu\text{m}$ și AV , $c = 2\text{g/L}$, $Q_1 = 3,87 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtru, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	160	1,41	99,12	1,28	115	28,13	34,80	50,13	34	0	16	12	8,91	4,18	3
2	10.00	151	3,40	97,75	2,26	99	34,64	49,10	32,85	37	8	16,70	14	25,00	0,00	6,81
3	20.00	190	1,44	99,24	5,56	97	49,00	43,40	28,16	33,10	5	16,90	9	12,20	2,47	12,00
4	30.00	167	1,32	99,21	4,03	85,20	48,98	39,40	27,43	22	10	17	3	13,80	1,98	8,05
5	40.00	159	1,87	98,82	4,38	71,70	54,91	37,20	21,70	24,90	8	20	3	14,20	3,84	8,83

Tabelul 9. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $D < 100 \mu\text{m}$ și AV , $c = 2\text{g/L}$, $Q_2 = 2,25 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtru, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	155	1,94	98,75	5,97	49	68,13	29	13,42	27,40	0,77	21,10	4,06	12,60	5,48	11,2
2	10.00	142,00	2,13	98,50	7,30	71	50,21	24	32,89	24,80	-0,56	15,60	6,48	13,20	1,69	12,50
3	20.00	189,00	2,18	98,85	4,56	71,90	61,96	30,10	22,12	21,00	4,81	15,80	2,75	12,20	1,90	11
4	30.00	171,00	2,41	98,59	5,73	54	68,60	24,20	17,25	17	3,98	16,80	0,35	12,20	2,69	12,20
5	40.00	157	2,97	98,11	4,15	35,4	77,45	17,1	11,66	16,1	0,64	10,8	3,38	13,2	0	9,48

Tabelul 10. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $200 < D < 500 \mu\text{m}$ și SA , $c = 60 \text{ mg/L}$, $Q_1 = 4,28 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtru, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	152,00	3	97,88	0,70	82,20	45,92	5,78	50,28	11	0	4,86	4,24	5,39	0	4,29
2	12.00	183,00	3	98,21	0,67	83	54,75	7,95	40,90	13,40	0	4,99	4,60	5,52	0	4,49
3	24.00	183,00	3	98,11	0,86	95,30	47,92	24,70	38,58	7,18	9,57	5,45	0,95	5,13	0,17	5,02
4	36.00	195	3	98,59	1,17	104,00	46,67	36,60	34,56	15,70	10,72	8,08	3,91	6,46	0,83	5,04
5	48.00	178	3	98,58	1,85	151,00	15,17	52,60	55,28	23,70	16,24	12,40	6,35	8,67	2,10	5,83

Tabelul 11. Eficiența instalației de decantare și filtrare asupra îndepărtării microplasticelor, $200 < D < 500 \mu\text{m}$ și SA , $c = 60 \text{ mg/L}$, $Q_2 = 2,28 \text{ L/h}$

Nr. crt	Timp, min	Media Ti, NTU	Media Tf, NTU	Eficiență totală, %	Eficiență filtru, %	Media TC1, NTU	Eficiență C1, %	Media TC2, NTU	Eficiență C2, %	Media TC3, NTU	Eficiență C3, %	Media TC4, NTU	Eficiență C4, %	Media TC5, NTU	Eficiență C5, %	Media TC6, NTU
1	0.00	197,00	2,22	97,23	1,64	46,60	76,35	19,30	13,86	11,50	3,96	10,50	0,51	6,67	1,94	5,46
2	12.00	178,00	2,30	97,05	1,66	28,00	84,27	20,60	4,16	8,69	6,69	8,66	0,02	6,04	1,47	5,25
3	24.00	179,00	1,87	96,42	2,54	51,60	71,17	15,20	20,34	9,84	2,99	8,44	0,78	7,83	0,34	6,41
4	36.00	161,00	1,66	96,65	2,32	70,80	56,02	11,10	37,08	8,74	1,47	9,04	0	6,38	1,65	5,39
5	48.00	192,00	1,70	97,15	1,97	54,30	71,72	31,50	11,88	10,30	11,04	10,20	0,05	6,51	1,92	5,48
6	60.00	207,00	1,51	97,78	1,49	46,60	77,49	13,30	16,09	10,00	1,59	11,40	0	5,38	2,91	4,59

5. Bibliografie

- [1] Sacco, N. A., Zoppas, F. M., Devard, A., González, M. P., García, G., Marchesini, F. A., “Recent Advances in Microplastics Removal from Water with Special Attention Given to Photocatalytic Degradation: Review of Scientific Research”, *Microplastics*, 2(3), 278–303, **2023**.
- [2] Pan, Y., Gao, S.H., Chang, G., Huang, S., Kang, Y., “Removing microplastics from aquatic environments: A critical review”, Editorial Board, *Research of Environmental Sciences*, **2023**.
- [3] Egbueri, J. C., Ighalo, J. O., Pande, C. B., “Microplastics in African and Asian Environments”, in *Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. Cham: Springer Nature, Switzerland, **2024**.
- [4] Haque, F., Fan, C., “Fate and Impacts of Microplastics in the Environment: Hydrosphere, Pedosphere, and Atmosphere”, MDPI, **2023**.
- [5] Su M., Gan, S., Gao, R., Du, C., Wei, C., “Toxicity Mechanisms of Microplastic and Its Effects on Ruminant Production: A Review”, *Biomolecules*, 15(4), 462, **2025**.
- [6] Li, Y., Chen, P., Tang, Y., Yang, Y., Zhou, C., “Microplastics in Water: A Review of Characterization and Removal Methods”, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), **2024**.
- [7] Lin, Y. D., Huang, P. H. Chen, Y. W., Hsieh, C.W., “Sources, Degradation, Ingestion and Effects of Microplastics on Humans: A Review”, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), **2023**.
- [8] Du, H., Wang, J., “Characterization and environmental impacts of microplastics”, Elsevier Inc, **2021**.
- [9] Chen, H. L., Selvam, S. B., Ting, N., Gibbins, C. N., “Microplastic pollution in freshwater systems in Southeast Asia: contamination levels, sources, and ecological impacts”.
- [10] Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A.S., Omar, S., Elgarahy, A.M., “Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review”, Springer Science and Business Media Deutschland, **2023**.
- [11] Saha, S. C., Saha, G., “Effect of microplastics deposition on human lung airways: A review with computational benefits and challenges,” *Heliyon*, 10(2), **2024**.
- [12] Meng, X., Yuan, J., Huang, Q., Liu, R., Yang, Y., Yang, X., “A Review of Sources, Hazards, and Removal Methods of Microplastics in the Environment”, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), **2025**.
- [13] Acarer, S., “Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants”, *Water Science and Technology*, 87(3), 685–710, **2023**.
- [14] Prapanchan, V. N., Kumar, E., Subramani, T., Sathya, U., “Identification and Extraction of Microplastics | Encyclopedia Identification and Extraction of Microplastics”.
- [15] Kadac-Czapska, K., Knez, E., Grembecka, M., “Food and human safety: the impact of microplastics”, Taylor and Francis Ltd., **2024**.
- [16] Prasath, A., Sudhakar, C., Selvam, K., “Microplastics in the environment: Types, sources, and impact on human and aquatic systems,” *Bioresour Technol Rep*, 29, **2025**.
- [17] Zhang, T., Jiang, B., Xing, Y., Ya, H., Wang, X., “Current status of microplastics pollution in the aquatic environment, interaction with other pollutants, and effects on aquatic organisms”, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, **2022**.
- [18] Rafa, N., Ahmed, B., Zohora, F., Bakya, J., Ahmed, S., “Microplastics as carriers of toxic pollutants: Source, transport, and toxicological effects”.
- [19] Bajt, O., “From plastics to microplastics and organisms”, John Wiley and Sons Inc, **2021**.

- [20] <https://www.usgs.gov/media/images/microplastics-sources-pathways-and-fate-conceptual-diagram> (Accesat la 08.05.2025).
- [21] Bakhshae, A., Babakhani, P., Ashiq, M. M., Bell, K., Salehi, M., Jazaei, F., “Potential impacts of microplastic pollution on soil–water–plant dynamics”, *Sci Rep*, 15(1), **2025**.
- [22] Rose, P. K., Jain, M., Kataria, N., Sahoo, P. K., Garg, V. K., Yadav, A., “Microplastics in multimedia environment: A systematic review on its fate, transport, quantification, health risk, and remedial measures”, *Groundwater for Sustainable Development*, Elsevier, **2023**.
- [23] Lamichhane, G., Acharya, A., Marahatha, R., Modi, B., Paudel, R., “Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures”, *Institute for Ionics*, **2023**.
- [24] Rushdi, I., Mohd, W., Wan, K., Zin, M., Tuan Anuar, S., “Microplastics in the Environment: Properties, Impacts and Removal Strategies”.
- [25] Hoang, V. H., Nguyen, M. K., Hoang, T. D., Lin, C., Pham, M. T., Ha, M. C., “Microplastic characteristics, transport, risks, and remediation in groundwater: a review”, *Springer Nature*, **2025**.
- [26] Maity, A., Kumar, V., Singh, B., “Bioplastic book chapter Singh-MORM-16347821.”, Available: <https://www.researchgate.net/publication/385774650>.
- [27] Lee, Y., Sung, M., Sung, S. E., Choi, J. H., Park, J. W., “The histopathological and functional consequences of microplastic exposure” *Discover Applied Sciences*, 7(1), **2025**.
- [28] Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., Song, M., “Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects”, *American Chemical Society*, **2023**.
- [29] Wang, Y. F., Wang, X. Y., Chen, B. J., Yang, Y. P., Li, H., Wang, F., “Impact of microplastics on the human digestive system: From basic to clinical”, *Baishideng Publishing Group Inc*, **2025**.
- [30] Lee, Y., Cho, J., Sohn, J., Kim, C., “Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea”, *Yonsei University College of Medicine*, **2023**.
- [31] Lee, S. E., Kim, D. Y., Jeong, T. S., Park, Y. S., “Micro- and Nano-Plastic-Induced Adverse Health Effects on Lungs and Kidneys Linked to Oxidative Stress and Inflammation”, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, **2025**.
- [32] Cong, Q., Ren, Z., Zheng, Y., Wang, L., Lu, H., “Progress in the Study of Toxic Effects of Microplastics on Organisms in Freshwater Environments and Human Health”, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, **2025**.
- [33] Philippe, S., Abdoukarim, A., Alassane, Y. A. K., Pascal, A. C., “Evaluation of Aloe vera leaf gel as a Natural Flocculant: Phytochemical Screening and Turbidity removal Trials of water by Coagulation flocculation”, **2015**.
- [34] “Norit Gac 830 W: Datasheet. Specification (Technical Standard).”
- [35] Anuwa-Amarh, N. A., Dizbay-Onat, M., Venkiteshwaran, K., Wu, S., “Carbon-Based Adsorbents for Microplastic Removal from Wastewater”, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, **2024**.
- [36] <https://www.thelabstore.co.uk/files/attachments/3668/FP4CCENITFRESEDECH-10003610-259229.pdf>. “Manual de utilizare Testul Jar” (Accesat la 14.05.2025).
- [37] Campanale, C., Savino, I., Massarelli, C., Uricchio, V. F., “Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Assess the Degree of Alteration of Artificially Aged and Environmentally Weathered Microplastics,” *Polymers (Basel)*, 15(4), **2023**.
- [38] Villegas-Camacho, O., Francisco, I., Eleuterio, R., Granda-Gutiérrez, E. E., Martínez-Gallegos, S., Villanueva, D., “FTIR-Based Microplastic Classification: A Comprehensive Study on Normalization and ML Techniques,” *Recycling*, 10(2), **2025**.