

**MİRZƏYEVA G.Ə., ƏZİZOVA R., MUSTAFAZADƏ N.,
ORUCZADƏ Q., NİFTALİZADƏ Q., ƏSGƏROVA G.**

Azərbaycan Texniki Universiteti (H. Cavid pr. 25, Bakı, AZ 1073, Azərbaycan)
gulnaz.mirzayeva@aztu.edu.az,

**DAYANIQLI İNKİŞAF KONTEKSTİNDƏ SU HÖVZƏLƏRİNDƏ KİMYƏVİ
ÇİRLƏNDİRİCİLƏRİN ANALİTİK İDENTİFİKASIYASI VƏ EKOLOJİ TƏMİZ
TƏMİZLƏMƏ TEXNOLOGİYALARININ OPTİMALLAŞDIRILMASI**

Giriş. Dayanıqlı inkişaf konsepsiyası təbii ehtiyatların qorunmasını, ekoloji tarazlığın saxlanmasını və gələcək nəsillərin ehtiyaclarının təmin edilməsini əsas prioritet kimi müəyyən edir. Bu kontekstdə su ehtiyatlarının keyfiyyəti insan sağlamlığı, ekosistemlərin davamlılığı və sosial-iqtisadi inkişaf üçün həlledici əhəmiyyətə malikdir. Sənayeləşmənin sürətlənməsi, kənd təsərrüfatında kimyəvi maddələrin intensiv tətbiqi, məişət və sənaye tullantılarının nəzarətsiz şəkildə su obyektlərinə axıdılması nəticəsində çaylar, göllər və dənizlər müxtəlif kimyəvi çirkləndiricilərlə yüklənir. Xüsusilə ağır metallar, neft məhsulları, pestisidlər və duzlar uzunmüddətli ekoloji risklər yaradır. Bu səbəbdən su hövzələrində kimyəvi çirklənmənin vaxtında və dəqiq müəyyən edilməsi, həmçinin ekoloji cəhətdən təhlükəsiz və səmərəli təmizləmə texnologiyalarının tətbiqi dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə nail olmaq üçün vacibdir.

Su hövzələrində kimyəvi çirkləndiricilərin xarakteristikası. Su obyektlərində rast gəlinən kimyəvi çirkləndiricilər mənşəyinə və təsir mexanizminə görə müxtəlif qruplara bölünür:

Ağır metallar (civə, qurğuşun, kadmium, arsen və s.) toksik, parçalanmayan və bioakumulyasiya qabiliyyətinə malik olduqları üçün xüsusi təhlükə yaradır. Bu maddələr qida zənciri boyunca biomagnifikasiya edərək canlı orqanizmlərdə yüksək konsentrasiyalara

ra çata bilər. Ağır metalların uzunmüddətli təsiri nəticəsində balıqların fizioloji funksiyalarında pozuntular, reproduktiv qabiliyyətin azalması və insan sağlamlığı üçün təhlükəli olan xroniki zəhərlənmə hallarının artması müşahidə olunur. Xüsusilə civə və kadmium kimi elementlər sinir sistemi və böyrəklər üzərində ciddi toksik təsir göstərir.

Neft və neft məhsulları əsasən hasilat, emal və nəqliyyat prosesləri zamanı su mühitinə daxil olur. Bu maddələr suyun səthində nazik plyonka əmələ gətirərək oksigen mübadiləsini pozur, hidrobioloji prosesləri zəiflədir və su orqanizmlərinin həyat fəaliyyətinə mənfi təsir göstərir. Neft çirklənməsi fotosintez prosesini məhdudlaşdırır, plankton və bentos orqanizmlərinin kütləvi məhvinə səbəb olur və su hövzələrinin özünütəmizləmə qabiliyyətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bundan əlavə, aromatik karbohidrogenlər kanserogen xüsusiyyətə malik olub ekosistemlər üçün uzunmüddətli risk yaradır.

Duzlaşma və mineral çirklənmə isə sənaye tullantıları və suvarma sistemlərindən qaynaqlanır. Suyun duzluluğunun artması osmotik tarazlığı pozur, bioloji müxtəlifliyin azalmasına və su ekosistemlərinin struktur dəyişməsinə səbəb olur. Bu proses xüsusilə şirin su hövzələrində yaşayan həssas növlərin məhv olmasına, invaziv və duza davamlı növlərin üstünlük qazanmasına gətirib çıxarır. Nəticədə ekosistemin trofik səviyyələri

arasında tarazlıq pozulur və su ehtiyatlarının təsərrüfat əhəmiyyəti azalır.

Bundan əlavə, pestisidlər, herbisidlər və digər sintetik üzvi birləşmələr də su hövzələrinin kimyəvi çirklənməsində mühüm rol oynayır. Kənd təsərrüfatında geniş istifadə olunan bu maddələr səthi axınlar vasitəsilə su obyektlərinə daxil olaraq toksik təsir göstərir və endokrin pozucu xüsusiyyətləri ilə canlıların inkişaf proseslərinə müdaxilə edir. Bu çirkləndiricilərin uzunmüddətli mövcudluğu ekosistemlərin davamlılığına ciddi təhlükə yaradır.

Ümumilikdə, kimyəvi çirkləndiricilərin su hövzələrində toplanması ekoloji tarazlığın pozulmasına, təbii resursların deqradasiyasına və insan sağlamlığı üçün risklərin artmasına səbəb olur. Bu baxımdan, çirkləndiricilərin monitorinqi, analitik identifikasiyası və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz təmizləmə texnologiyalarının tətbiqi dayanıqlı inkişafın əsas şərtlərindən biri hesab olunur.

Kimyəvi çirkləndiricilərin analitik identifikasiyası. Su mühitində kimyəvi çirkləndiricilərin dəqiq müəyyən edilməsi üçün yüksək həssaslığa və seçiciliyə malik analitik metodlardan istifadə olunur. Bu metodlar çirkləndiricilərin iz səviyyəsində aşkarlanmasına, mənşəyinin müəyyənləşdirilməsinə və ekoloji risklərin obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir. Xüsusilə mürəkkəb su matrislərində etibarlı nəticələrin əldə olunması üçün müasir instrumental analiz üsullarının tətbiqi zəruri hesab olunur.

İnduktiv Rabitəli Plazma – Kütlə Spektrometriyası (ICP-MS) ağır metalların və iz elementlərinin çox aşağı konsentrasiyalarda təyini üçün ən effektiv üsullardan biridir. Bu metod eyni vaxtda çoxsaylı elementlərin kəmiyyət analizini aparmağa və izotop səviyyəsində identifikasiya həyata keçirməyə imkan verir. ICP-MS texnologiyası yüksək ionlaşma effektivliyi və geniş dinamik ölçmə diapazonu ilə seçilir ki, bu da ekoloji monitorinq

proqramlarında onun tətbiqini xüsusilə əlverişli edir.

Xromatoqrafik metodlar, o cümlədən Yüksək Effektlili Maye Xromatoqrafiyası (HPLC) və Qaz Xromatoqrafiyası – Kütlə Spektrometriyası (GC-MS) üzvi çirkləndiricilərin, pestisidlərin, polisiklik aromatik karbohidrogenlərin və digər toksik birləşmələrin analizində geniş tətbiq olunur. Bu metodlar mürəkkəb su matrislərində belə yüksək dəqiqlik təmin edir. Xromatoqrafiya-kütlə spektrometriyası birləşməsi maddələrin həm ayrılması, həm də struktur identifikasiyası baxımından güclü analitik imkanlar yaradır.

Bundan əlavə, X - ray difraksiyası (XRD) maddələrin kristal quruluşunun öyrənilməsi, dinamik işıq səpilməsi (DLS) hissəcik ölçülərinin təyini, termoqrammetrik analiz (TGA) isə maddələrin termal sabitliyinin qiymətləndirilməsi üçün tamamlayıcı metodlar kimi istifadə edilir. Bu metodların inteqrasiyası çirkləndiricilərin kompleks və etibarlı identifikasiyasına şərait yaradır. Xüsusilə nanoölçülü çirkləndiricilərin və kompozit materialların xarakteristikası zamanı bu metodlar mühüm rol oynayır.

ICP-MS (İnduktiv Rabitəli Plazma - Kütlə Spektrometriyası): Bu, iz elementlərinin analizi üçün ən həssas üsuldür və məhlulda 0,01-1 µq/L kimi çox aşağı aşkar etmə limitlərinə malikdir. Metod bir analizdə 60-dan çox elementi eyni vaxtda kəmiyyətcə təyin etməyə imkan verir və izotopik identifikasiya qabiliyyətinə görə müdaxilələrə qarşı daha az həssasdır. Bu xüsusiyyətlər ICP-MS metodunu ağır metal çirklənməsinin erkən mərhələdə aşkarlanması üçün əsas analitik alətə çevirir.

HPLC və GC-MS: Mənbələrdə müxtəlif xromatoqrafik metodların pestisidlərin, dəniz suyundakı üzvi komplekslərin və bioloji mayelərdəki metabolitlərin analizi üçün istifadə edildiyi qeyd olunur. Məsələn, neft sənayesi tullantılarında polisiklik aromatik karbohidrogenlərin (PAH) və toksik üzvi birləşmələrin təyini üçün bu metodlar vacibdir. Qaz

xromatoqrafiyası (GC) vasitəsilə göbələk ekstraktlarının fitokimyəvi analizi də həyata keçirilir. Bu isə xromatoqrafik metodların yalnız ekoloji deyil, eyni zamanda biokimyəvi və sənaye tədqiqatlarında da geniş tətbiq sahəsinə malik olduğunu göstərir.

Tamamlayıcı Metodlar: Metalların və mineralların strukturunu müəyyən etmək üçün X-ray difraksiyası (XRD), hissəciklərin ölçü paylanması öyrənmək üçün dinamik işıq səpilməsi (DLS) və termal parçalanmanı izləmək üçün termoqrammetrik analiz (TGA) tətbiq olunur. Bu metodlar əsas analitik üsulları tamamlayaraq çirkləndiricilərin fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin daha dərinədən öyrənilməsinə imkan verir və ekoloji təmizləmə texnologiyalarının seçilməsində elmi əsas rolunu oynayır.

Ekoloji cəhətdən təmiz su təmizləmə texnologiyaları. Dayanıqlı inkişaf baxımından suyun təmizlənməsində ekoloji təhlükəsiz və enerji baxımından səmərəli texnologiyalara üstünlük verilir. Bu texnologiyalar təbii resurslardan rəşional istifadəni, karbon izinin azaldılmasını və su ekosistemlərinin qorunmasını hədəfləyir. Eyni zamanda, ekoloji cəhətdən təmiz yaşmalar su təmizləmə sistemlərinin uzunmüddətli iqtisadi dayanıqlığını təmin edən əsas amillərdən biri kimi çıxış edir.

Bioremediasiya mikroorqanizmlər və bitkilər vasitəsilə çirkləndiricilərin parçalanmasına əsaslanır. Fitoremediasiya və süni bataqlıqlar aşağı enerji sərfi və minimal ikinci dərəcəli çirklənmə riski ilə seçilir. Bu üsullar xüsusilə ağır metallar, azot-fosfor birləşmələri və üzvi çirkləndiricilərlə çirklənmiş suların təmizlənməsində effektiv hesab olunur. Bitkilərin kök sistemi və mikrobioloji icmaların birgə fəaliyyəti nəticəsində çirkləndiricilər ya parçalanır, ya da immobilizasiya olunaraq ekosistem üçün təhlükəsiz formaya çevrilir.

Adsorbsiya üsulları aktivləşdirilmiş kömür, biochar, seolitlər və digər təbii materiallardan istifadə etməklə ağır metalların və neft

məhsullarının sudan çıxarılmasını təmin edir.

Bu metod sadə tətbiqi və yüksək effektivliyi ilə geniş yayılmışdır. Xüsusilə kənd təsərrüfatı və sənaye tullantılarından əldə edilən biochar materiallarının istifadəsi dövrü iqtisadiyyat prinsiplərinə uyğun olmaqla həm ekoloji, həm də iqtisadi üstünlüklər yaradır. Adsorbentlərin regenerasiya və təkrar istifadəsi isə prosesin ümumi səmərəliliyini daha da artırır.

Membran texnologiyaları (mikrofiltrasiya, ultrafiltrasiya, nanofiltrasiya və tərs osmos) isə yüksək təmizləmə dərəcəsi, avtomatlaşdırma imkanı və təkrar su istifadəsi baxımından üstünlüklərə malikdir. Xüsusilə tərs osmos suyun duzsuzlaşdırılmasında ən perspektivli texnologiyalardan biri hesab olunur. Bu texnologiya dəniz və şor suların içməli və texniki istifadəyə yararlı hala gətirilməsində geniş tətbiq olunur. Müasir membran materiallarının inkişafı fouling problemlərinin azaldılmasına və enerji sərfiyyatının optimallaşdırılmasına imkan verərək membran sistemlərinin davamlılığını artırır.

Yaşıl texnologiyaların optimallaşdırılması və davamlı inkişaf perspektivləri. Su təmizləmə proseslərinin optimallaşdırılması enerji sərfiyyatının azaldılması, bərpa olunan materiallardan istifadə və texnoloji proseslərin rəqəmsal idarə olunması ilə sıx bağlıdır. Bu yanaşma ekoloji yükün minimuma endirilməsini, əməliyyat xərclərinin azaldılmasını və su ehtiyatlarının daha səmərəli idarə olunmasını təmin edir. Xüsusilə aşağı enerji tutumlu texnologiyaların tətbiqi karbon emissiyalarının azalmasına və iqlim dəyişmələrinin mənfi təsirlərinin yumşaldılmasına töhfə verir. Eyni zamanda, bioloji mənşəli adsorbentlər və ekoloji cəhətdən təhlükəsiz reagentlərin istifadəsi tullantıların ikinci dərəcəli çirkləndirici mənbəyə çevrilməsinin qarşısını alır.

Membran bioreaktorları (MBR) bioloji və membran texnologiyalarını birləşdirərək yüksək səmərəlilik və suyun təkrar istifadəsi imkanları yaradır. Bu sistemlər klassik aktiv

lil prosesləri ilə müqayisədə daha kompakt quruluşa malik olmaqla yanaşı, çirkləndiricilərin çıxarılma dərəcəsini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. MBR texnologiyası nəticəsində əldə olunan yüksək keyfiyyətli çıxış suyu sənaye, kənd təsərrüfatı və texniki məqsədlər üçün təkrar istifadə oluna bilər ki, bu da su qıtlığı probleminin həllində mühüm rol oynayır.

Süni intellekt və modelləşdirmə əsaslı monitoring sistemləri təmizləmə proseslərinin real vaxt rejimində idarə olunmasına və resurslara qənaət edilməsinə şərait yaradır. Bu sistemlər böyük həcmli verilənlərin təhlili əsasında proses parametrlərini avtomatik optimallaşdırır, avadanlıqların nasazlıqlarını əvvəlcədən proqnozlaşdırır və kimyəvi reagentlərin dozalanmasını dəqiqləşdirir. Nəticədə, həm enerji və su sərfiyyatı azalır, həm də təmizləmə proseslərinin ümumi etibarlılığı və davamlılığı artır.

NƏTİCƏ

Su hövzələrində kimyəvi çirkləndiricilərin analitik identifikasiyası və ekoloji cəhətdən təmiz təmizləmə texnologiyalarının optimallaşdırılması dayanıqlı inkişafın əsas komponentlərindən biridir. Müasir analitik metodların tətbiqi çirklənmə səviyyəsinin dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan verir, yaşıl texnologiyaların inteqrasiyası isə su ehtiyatlarının qorunmasını və uzunmüddətli istifadəsini təmin edir. Bu yanaşmalar ekoloji təhlükəsizliyin artırılmasına və gələcək nəsillər üçün sağlam su mühitinin formalaşdırılmasına xidmət edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Adesegun J. Kashimawo1, Samuel J. Bunu. Methods of Analyzing Heavy Metals in Water and Sampling Procedure Across Southern Nigeria [https://www. Mediresonline.org/methods-of-analyzing-heavy-](https://www.Mediresonline.org/methods-of-analyzing-heavy-)

[metals-in-water-and-sampling-procedure-across-southern-nigeria.pdf](https://www.Mediresonline.org/methods-of-analyzing-heavy-metals-in-water-and-sampling-procedure-across-southern-nigeria.pdf)

2. Qusai Khaled, Bahjat Mallak, Uzay Kaymak, Laura Genga. Explainable Uncertainty Quantification for Wastewater Treatment Energy Prediction via Interval Type-2 Neuro-Fuzzy System <https://arxiv.org/pdf/2601.18897>
3. Ufuoma Ejairu, Adeoye Taofik Aderamo, Henry Chukwumeka Olisakwe, Andrew Emuobosa Esiri, Uwaga Monica Adanma, Nko Okina Solomon. Eco-friendly wastewater treatment technologies (concept): Conceptualizing advanced, sustainable wastewater treatment designs for industrial and municipal application <https://doi.org/10.57219/crret.2024.2.1.0063>
4. OD Ogundele, TE Anaun, DA Oyegoke, AB Afolabi. Advanced Oxidation Processes for Sustainable Remediation and Waste Water Treatment https://cskscientificpress.com/articles_file/350-article1688824086.pdf
5. V.M. Abbasov, R.H. Valiyev, E.A. Aydinsoy, Z.Z. Aghamaliyev, D.B. Aghamaliyeva, N.M. Aliyeva, V.B. Abbasov. Environmental impact and analytical characterization of water samples from the caspian sea https://proceedings.socar.az/uploads/pdf/109/001_008_OGP2025SI101056.pdf
6. Murad Şahbazlı. Su Təchizatı Sistemlərinin Ekoloji Problemləri <https://www.Scribd.com/presentation/616206116/Su-T%C9%99chizat%C4%B1-Sisteml%C9%99rinin-Ekoloji-Probleml%C9%99ri-MURAD-%C5%9EAHBAZLI>
7. Əliyeva Nailə Hikmət. “Bakı Neft Emalı Zavodunun çirkab sularında zərərli maddələrin təyini və ekoloji nəzarət istiqamətləri” https://unec.edu.az/application/uploads/2021/02/Aliyeva_Naila_Hikmet.pdf
8. Aliyeva Aynur. Suların kimyəvi və istilik çirklənmələrinin ekoloji nəticələri, görülən tədbirlər <https://unec.edu.az/application/uploads/2018/11/Al-yeve-Aynur.pdf>

9. Eurolab. Element icp oes ve-icp ms tayini
<https://www.laboratuvar.com/az/gida-analizleri/kimyasal-analizler/element-icp-oes-ve-icp-ms-tayini>

**Mirzəyeva G.Ə. Əzizova R.,
Mustafazadə N., Oruczadə Q.,
Niftalizadə Q., Əsgərova G.**

Azərbaycan Texniki Universiteti

gulnaz.mirzayeva@aztu.edu.az

**Dayanıqlı inkişaf kontekstində su
hövzələrində kimyəvi çirkləndiricilərin
analitik identifikasiyası və ekoloji təmiz
təmizləmə texnologiyalarının
optimallaşdırılması**

XÜLASƏ

Dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə nail olmaq üçün su ehtiyatlarının qorunması və keyfiyyətinin təmin edilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sənaye fəaliyyəti, kənd təsərrüfatı və urbanizasiya prosesləri nəticəsində su hövzələri ağır metallar, neft məhsulları, pestisidlər və digər kimyəvi çirkləndiricilərlə çirklənir ki, bu da ekosistemlər və insan sağlamlığı üçün ciddi risklər yaradır. Təqdim olunan məqalədə su obyektlərində kimyəvi çirkləndiricilərin analitik identifikasiyası üçün tətbiq olunan müasir metodlar, o cümlədən induktiv rabitəli plazma–kütlə spektrometriyası (ICP-MS), xromatoqrafik üsullar (HPLC, GC-MS) və tamamlayıcı analiz metodları təhlil edilmişdir. Eyni zamanda bioremediasiya, adsorbsiya və membran prosesləri kimi ekoloji cəhətdən təmiz su təmizləmə texnologiyalarının üstünlükləri və tətbiq imkanları qiymətləndirilmişdir. Məqalədə yaşıl texnologiyaların optimallaşdırılmasının enerji səmərəliliyinin artırılması, resurslara qənaət və suyun təkrar istifadəsi baxımından əhəmiyyəti vurğulanır. Aparılan təhlil göstərir ki, müasir analitik metod-

ların və ekoloji təmiz texnologiyaların inteqrasiyası su ehtiyatlarının davamlı idarə olunması və gələcək nəsillər üçün təhlükəsiz su mühitinin təmin edilməsi baxımından perspektivlidir.

Açar sözlər: dayanıqlı inkişaf; su hövzələri; kimyəvi çirkləndiricilər; analitik identifikasiya; ekoloji təmiz su təmizləmə texnologiyaları; bioremediasiya; membran proseslər

**Mirzəyeva G., Əzizova R.,
Mustafayeva N., Orucova Q.,
Niftalizadə Q., Əsgərova G.**

*Azerbaijan Technical University
(H. Javid Ave. 25, Baku, AZ 1073,
Azerbaijan)*

**Analytical identification of chemical
pollutants in water bodies and
optimization of environmentally friendly
water treatment technologies in the
context of sustainable development**

ABSTRACT

Achieving sustainable development requires the protection and maintenance of the quality of water resources. Industrial activities, agriculture, and urbanization lead to the contamination of water bodies with heavy metals, petroleum products, pesticides, and other chemical pollutants, posing significant risks to ecosystems and human health. This paper analyzes modern methods for the analytical identification of chemical pollutants in water bodies, including inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP-MS), chromatographic techniques (HPLC, GC-MS), and complementary analytical methods. Additionally, environmentally friendly water treatment technologies such as bioremediation, adsorption, and membrane processes are evaluated for their advantages and applicability. The study emphasizes the importance of

optimizing green technologies to increase energy efficiency, conserve resources, and enable water reuse. The integration of modern analytical methods with eco-friendly treatment technologies is shown to be crucial for sustainable water management and ensuring safe aquatic environments for future generations.

Keywords: *sustainable development; water bodies; chemical pollutants; analytical identification; eco-friendly water treatment technologies; bioremediation; membrane processes.*

Мирзеева Г., Азизова Р., Мустафаева Н., Оруджова Г., Нифтализде Г., Эсгéroва Г.

Азербайджанский Технический Университет (пр. Г. Джавида, 25, Баку, AZ 1073, Азербайджан)

Аналитическая идентификация химических загрязнителей в водных объектах и оптимизация экологически чистых технологий очистки воды в контексте устойчивого развития

АННОТАЦИЯ

Для достижения целей устойчивого развития необходимо сохранять и обеспечивать качество водных ресурсов. Промышленная деятельность, сельское хозяйство и урбанизация приводят к загрязнению водных объектов тяжёлыми металлами,

нефтепродуктами, пестицидами и другими химическими загрязнителями, что представляет серьёзную угрозу для экосистем и здоровья человека. В данной статье проанализированы современные методы аналитической идентификации химических загрязнителей в водных объектах, включая индуктивно-связанную плазменную масс-спектрометрию (ICP-MS), хроматографические методы (HPLC, GC-MS) и дополнительные аналитические методы. Кроме того, оцениваются экологически чистые технологии очистки воды, такие как биоремедиация, адсорбция и мембранные процессы, с точки зрения их преимуществ и применимости. Подчёркивается важность оптимизации «зелёных» технологий для повышения энергоэффективности, экономии ресурсов и повторного использования воды. Интеграция современных аналитических методов с экологически безопасными технологиями очистки воды имеет ключевое значение для устойчивого управления водными ресурсами и обеспечения безопасной водной среды для будущих поколений.

Ключевые слова: *устойчивое развитие; водные объекты; химические загрязнители; аналитическая идентификация; экологически чистые технологии очистки воды; биоремедиация; мембранные процессы.*

Məqaləyə AzTU-nun "Kimya texnologiya, təkrar emal və ekologiya" kafedrasının dosenti, k.ü.f.d. N.Ə. Şirinova rəy vermişdir.

Redaksiyaya daxil olma/Received 14.10.2025

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 12.01.2026