



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Мамит Әсель Ерланқызы

Тақырыбы: Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен ыдырату процестерін зерттеу

Жетекшісі: Азат С.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1,5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0

Әріптерді ауыстыру: 10

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 22

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

26.05.2025



Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

«Дипломдық жұмыс» бойынша

Мамит Әсель Ерланқызы

6B07109- Инженерлік физика және материалтану

Тақырып: «Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен ыдырату процестерін зерттеу»

Дипломдық жұмыс кіріспеден, үш құрылымдық тараудан және қорытынды бөлімінен тұрады. Бірінші тарауда микропластиктердің қоршаған ортаға тигізетін әсері, олардың түрлері және қазіргі таңда қолданылып жүрген жою әдістеріне қатысты жан-жақты әдеби шолу жүргізілген. Екінші тарауда фотокаталитикалық Фентон процесін қолдана отырып жүргізілген тәжірибелік зерттеу сипатталып, зерттеу әдістемесі егжей-тегжейлі баяндалған. Үшінші тарауда алынған нәтижелерге талдау жасалып, олардың ғылыми және практикалық маңыздылығы негізделген.

Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – фотокаталитикалық Фентон әдісі арқылы полистирол негізіндегі микропластиктердің құрылымын бұзу мүмкіндігін анықтау және процестің тиімділігін заманауи аналитикалық әдістермен дәлелдеу болып табылады.

Студент **Мамит Әсель Ерланқызы** «Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен ыдырату процестерін зерттеу» тақырыбындағы дипломдық жұмысы «өте жақсы» деген бағаға лайық деп бағаланып, 96% орындалу деңгейімен белгіленеді.

Аталған жұмыс **6B07109** – Инженерлік физика және материалтану білім беру бағдарламасының талаптарына толық сәйкес келеді, ғылыми зерттеу мақсаттары мен міндеттері нақты орындалған.

Осыған байланысты студентке **6B07109** – Инженерлік физика және материалтану мамандығы бойынша «бакалавр» академиялық дәрежесін беру керек деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

Инженерлік бейінді зертхана жетекшісі,

PhD, профессор

 **С. Азат**

«30» мамыр 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Мамит Әсель Ерланқызы

«Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен
ыдырату процестерін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру бағдарламасы

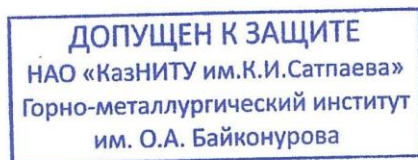
Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МНЖИФ кафедра меңгерушісі
 Какимов У.К.
«05» 06 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен ыдырату
процестерін зерттеу»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Мамит А.Е.

Пікір беруші:
Фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар
зертханасының меңгерушісі,
ф.-м.ғ.к., профессор
 Дмитриева Е.А.



Ғылыми жетекші:
Инженерлік бейінді
зертхана жетекшісі,
PhD, профессор
 Азат С.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«Материалтану,

нанотехнологиялар

және инженерлік физика»

кафедрасының меңгерушісі

 Какимов У.К.

«05» 06 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Мамит Әсель Ерланқызы

Тақырыбы: «Микропластиктерді фотокаталитикалық әдіспен ыдырату процестерін зерттеу»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 жылғы №26-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі "05" 06 2025 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Микропластиктерді ыдырату жолдары, фотокатализ әдісі және алынған нәтижелерді талдау.

Ұсынылған негізгі әдебиет 23 атаудан тұрады.

1. Poole M.A., O'Farrell P.N. The assumptions of the linear regression model // Trans.

2. Sedlak D. Three lessons for the microplastics voyage // Environ. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 51. – P. 7747–7748. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03340>

Дипломдық жұмысты дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	15.09.24 - 24.11.24	
Тәжірибелік бөлім	24.11.24 - 19.03.25	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	19.03.25 - 25.04.25	
Алдын-ала қорғау	29.04.2025	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер Атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Азат С., PhD, профессор	15.05.2025	
Тәжірибелік бөлім	Азат С., PhD, профессор	30.05.2025	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	Азат С., PhD, профессор	30.05.2025	
<u>Нормоконтролер</u>	Етиш Т.Е., техника ғылымдарының магистрі	02.06.2025	

Ғылыми жетекшісі

Тапсырманы орындауға білім алушы

Азат С.

Мамит.Ә.Е.

АНДАТПА

Қазіргі таңда микропластиктердің қоршаған ортада жиналуы өзекті экологиялық және санитарлық мәселелердің бірі болып отыр. Әсіресе полистирол негізіндегі микропластиктер су экожүйелерінде және топырақта ұзақ уақыт бойы сақталып, тірі ағзаларға теріс әсер етеді. Бұл зерттеуде полистирол микропластиктерін деградациялау мақсатында Фентон процесі қолданылды. Реакция барысында темір(II) сульфаты гептагидраты ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) және сутегі асқын тотығы (H_2O_2) реагенттері пайдаланылып, рН 2–3 және температура 35–40 °С аралығында гидроксил радикалдарының ($\bullet\text{OH}$) әсерінен микропластик құрылымының бұзылуы жүзеге асырылды. Деградация тиімділігі оптикалық және сканирлеуші электронды микроскопия (СЭМ), сондай-ақ динамикалық жарық шашырауы (ДЖШ) әдістері арқылы бағаланды. ДЖШ әдісі бөлшектердің өлшемі бойынша таралуындағы өзгерістерді анықтауға мүмкіндік беріп, Фентон процесінен кейін микропластик бөлшектерінің айтарлықтай ұсақталғанын көрсетті. Зерттеу нәтижелері Фентон процесінің микропластиктерді тиімді ыдыратуға қабілетті екенін дәлелдеп, оны экологиялық қауіпсіз тазарту технологияларының бірі ретінде қолдану әлеуетін айқындайды.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время накопление микропластика в окружающей среде представляет собой одну из актуальных экологических и санитарных проблем. Особенно микропластики на основе полистирола могут длительное время сохраняться в водных экосистемах и почве, негативно влияя на биологическое равновесие живых организмов. В данном исследовании для деградации полистирольного микропластика был применён процесс Фентона. В качестве реагентов использовались сульфат железа(II) гептагидрат ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) и пероксид водорода (H_2O_2). Реакция проводилась при pH 2–3 и температуре 35–40 °C, в результате чего под действием гидроксильных радикалов ($\bullet\text{OH}$) происходило разрушение структуры микропластика. Эффективность деградации оценивалась с использованием методов оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а также методом динамического светорассеяния (ДЛС). Метод ДЛС позволил зафиксировать значительное уменьшение размеров частиц после обработки, что подтверждает фрагментацию микропластика. Полученные результаты продемонстрировали высокую эффективность процесса Фентона в разложении микропластика и его потенциал в качестве экологически безопасной технологии очистки.

ABSTRACT

Currently, the accumulation of microplastics in the environment is considered one of the most pressing ecological and sanitary issues. In particular, polystyrene-based microplastics can persist for long periods in aquatic ecosystems and soil, negatively impacting the biological balance of living organisms. This study applied the Fenton process to degrade polystyrene microplastics. Iron(II) sulfate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and hydrogen peroxide (H_2O_2) were used as reagents. The reaction was carried out at pH 2–3 and a temperature range of 35–40 °C, during which hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$) induced the breakdown of the microplastic structure. The degradation efficiency was evaluated using optical and scanning electron microscopy (SEM), as well as dynamic light scattering (DLS) analysis. The DLS method revealed a significant reduction in particle size after treatment, confirming the fragmentation of the microplastics. The results demonstrated the high effectiveness of the Fenton process in degrading microplastics and its potential application as an environmentally safe purification technology.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
1	ӘДЕБИ ШОЛУ	10
1.1	Экологияның ластануы және негізгі себептері	10
1.2	Әлем бойынша пластик өндірісі мен тұтынуының салыстырмалы көрсеткіштері	15
1.3	Пластик түрлері	20
1.4	Суды тазалау әдістері	24
2	Тәжірибелік бөлім	28
2.1	Қолданылған материалдар мен реагенттер	28
2.2	Реакция ерітіндісін дайындау әдісі	30
2.3	Фентон процесінің жұмыс істеу механизмі	31
2.4	Фентон реакциясының кезеңдері	32
2.5	Үлгіні СЭМ талдауына дайындау	34
2.6	Физико-химиялық зерттеу әдістері	35
3	Нәтижелер және оларды талдау	37
3.1	Оптикалық микроскоп талдауының нәтижелері	37
3.2	Сканирлеуші электронды микроскоп (СЭМ) нәтижелері	39
3.3	ДЖШ (DLS) әдісі арқылы бөлшектердің өлшемдік таралуын анықтау нәтижелері	42
	ҚОРЫТЫНДЫ	43
	ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	44
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	45
	ҚОСЫМША	47

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта пластикалық қалдықтардың қоршаған ортада жиналуы жаһандық экологиялық мәселелердің бірі болып отыр. Әсіресе микропластиктер – өлшемі 5 мм-ден аспайтын пластик бөлшектер – су экожүйелеріне, топыраққа және атмосфераға кеңінен таралып, тірі ағзалардың өмір сүру ортасына теріс әсер етеді. Бұл бөлшектердің табиғатта ұзақ уақыт бойы ыдырамауы және биологиялық тізбек арқылы адам ағзасына өту қаупі олардың қоршаған ортадағы тұрақтылығының маңыздылығын арттырады.

Микропластиктердің ішінде полистирол кеңінен таралған синтетикалық полимерлердің бірі болып табылады. Полистиролдың химиялық құрылымы оның тұрақтылығын арттырып, табиғи жағдайда ыдырау процесін қиындатады. Сондықтан полистирол микропластиктерін тиімді ыдырату әдістерін іздеу және зерттеу өзекті мәселе болып саналады.

Органикалық ластаушы заттарды жоюдың перспективалы бағыттарының бірі – Фентон процесі. Бұл әдіс сутегі асқын тотығы (H_2O_2) мен темір(II) иондарының (Fe^{2+}) өзара әрекеттесуіне негізделіп, жоғары белсенді гидроксил радикалдарының ($\bullet\text{OH}$) түзілуіне мүмкіндік береді. Бұл радикалдар органикалық қосылыстардың құрылымын бұзып, олардың толық минералдануына дейін ыдырауын қамтамасыз етеді.

Осы зерттеу жұмысында полистирол микропластиктерін Фентон процесі арқылы ыдырату мүмкіндігі қарастырылды. Реакцияның тиімді шарттары анықталып, процестің нәтижелілігі оптикалық және сканирлеуші электронды микроскопия әдістері арқылы бағаланды. Бұл зерттеу микропластиктерді жоюдың экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және тиімді тәсілдерін әзірлеуге үлес қосады.

1 ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1 Экологияның ластануы және негізгі себептері

Экологиялық ластану – қоршаған ортаға оның қалыпты жағдайын бұзатын заттардың, энергияның немесе биологиялық бөлшектердің түсуі. Ластанудың негізгі көздеріне өнеркәсіп, көлік, ауыл шаруашылығы және тұрмыстық қалдықтар жатады. Атмосфераның, судың және топырақтың ластануы адам денсаулығының нашарлауына, флора мен фаунаның қырылуына, биологиялық әртүрліліктің азаюына және климаттың өзгеруіне әкеледі.

Судың ластануы қазіргі заманның ең күрделі экологиялық проблемаларының бірі болып табылады. Су - жер бетіндегі тіршіліктің негізі және оның тазалығы салауатты экожүйелер мен тіршіліктің әл-ауқатын сақтау үшін маңызды. Алайда, адам әрекеті көптеген су қоймаларының ішуге, жүзуге, тіпті балықтар мен басқа да су ағзаларының тіршілік ету ортасына жарамсыз болуына әкелді. Теңіз үстіндегі апаттар, мұнайдың төгілуі, түбірлердің жарылуы үлкен мәселеге алып келді.

Пластиктердің және микропластиктердің су құрамына енуі және оны адамдардың қолдануыда мәселе тудырды.

Ластанудың негізгі түрлері:

Атмосфераның ластануы:

Үлкен себептерінің бірі өнеркәсіптік кәсіпорындардан, көліктерден, жанармайдың жануынан зиянды газдардың шығарылуы. Ластаушы заттардың түрлері: көмірқышқыл газы (CO_2), метан (CH_4), азот оксидтері (NO_x), күкірт диоксиді (SO_2), озон (O_3) және т.б.

Судың ластануы:

Ластану себептеріне тазартылмаған ағынды сулардың ағуы, мұнайдың төгілуі, су айдындарына тыңайтқыштардың түсуі жатады. Ластаушы заттардың түрлері: мұнай өнімдері, ауыр металдар, органикалық қосылыстар, бактериялар мен вирустар.

Топырақтың ластануы:

Ол химиялық тыңайтқыштарды, пестицидтерді дұрыс қолданбау, сондай-ақ қалдықтарды жою кезінде пайда болады. Ластаушы заттардың түрлері: ауыр металдар, пестицидтер, химиялық заттар, радиоактивті қалдықтар.

Радиоактивті ластану:

Атом электр станцияларындағы апаттардан, ядролық қаруды сынаудан және радиоактивті қалдықтарды орналастырудан кейін пайда болады. Ластаушы заттардың түрлері: цезий-137, стронций-90, плутоний-239 сияқты радионуклидтер.

Пластикалық ластану:

Пластикалық қалдықтар қоршаған ортаға полигондар, өзендер мен мұхиттар арқылы түседі. Микропластиктер (ұсақ пластикалық бөлшектер) тірі организмдерде жиналып, денсаулыққа теріс әсер етеді.

Ал мен қарастыратын экологиялық мәселе пластиктің және микропластиктің ыдырауы.

Пластикалық пакеттер дүкендерде алғаш рет 1977 жылы пайда болды және тез арада сауда мен күнделікті өмірдің ажырамас бөлігіне айналды. Алайда уақыт өте келе олар ұзақ ыдырауына байланысты қоршаған ортаға айтарлықтай зиян келтіретіні белгілі болды.

Статистикаға сәйкес, әлемде әр минут сайын миллионнан астам полиэтилен пакеттері пайдаланылады, бұл мұхиттар мен басқа да су объектілерін ластаудың негізгі көздерінің біріне айналады. Олар ұсақ фрагменттерге бөлінгендіктен, теңіз жануарлары тамақ деп қателесіп, көбінесе олардың өліміне әкеледі [1].

Қалдықтардың белгілі бір бөлігі жиналып, қайта өңделсе де, пластмассаның едәуір бөлігі қоқыс тастайтын, жерге көмілген немесе табиғи ландшафттарда жиналады. Мамандардың бағалауынша, пластикалық қалдықтардың 90%-ы көмілмеген күйде қалып отыр, бұл ел экологиясына үлкен қауіп төндіреді. Пластмассаның жиналуы топырақтың, судың және ауаның ластануына, сондай-ақ адамдар мен жануарлардың денсаулығына теріс әсер етуі мүмкін.

Қазіргі уақытта су экожүйелерінің пластикалық ластануын зерттеу жалғасуда. Бірақ осы уақытқа дейін пластиктің биоалуан түрлілікке әсері аз зерттелген. Қазақстанның су айдындарында микро-және макропластиктің болуына зерттеулер бұрын жүргізілген жоқ. Ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижесінде Каспий теңізінің су жағалауында әртүрлі микропластик және басқа да макробөлшектер табылды. Осыған байланысты пластикалық ластану келемі сапалы және сандық бағалау және олардың тірі организмдер мен теңіз экожүйесіне әсерін анықтау үшін қосымша зерттеулер қажет [2].

2019 жылдың 16 қыркүйегі мен қазаны аралығында Каспий теңізіндегі Түпқараған түбегінің батыс жағалауында иесіз қалған аулар мен басқа да қоқыстар шығарылды, сондай-ақ пластикалық құрамын анықтау үшін су мен топырақ үлгілері алынған. Ұсыныстарға сәйкес әртүрлі әдістерді қолдану арқылы үлгілер алынды:

1.335 мкм ұяшығы бар Апштейн планктон торының көмегімен көлемі 100-ден 1000 литрге дейінгі суды сүзу;



1 сурет - Планктон торы.

Сапалы үлгілерді жинаудың негізгі құралы - планктон торы. Тоғандарда немесе көлдерде планктондарды ұстауға арналған стандартты тор әдетте диаметрі 20-30 см болатын дөңгелек жақтауға ие болады, рамка тот басуды болдырмау үшін қалыңдығы 4-6 мм болат сымнан жасалған, жақсырақ қалайыланған, мырышталған немесе никельмен қапталған. Пайдаланудың бірнеше маусымынан кейін тор матаның зақымдалуы. Газ қапшығы тікелей сым жақтауына бекітілмейді, бірақ жақтауға оралған қалың матаның (мысалы, кенеп) жолағына бекітіледі. Қаптың пішіні дерлік цилиндрлік болуы керек, төмен қарай тарылып, сопақ негізде аяқталады.

1.Максималды толқын сызығы бойынша құм мен пластиктің үлгілерін жинау (жағажайдың жоғарғы бөлігі).

Пластмассаға бөтелкелер, пластик ыдыстар және басқа да тұрмыстық заттар, сонымен қатар микропластиктер деп аталатын ұсақ бөлшектер кіреді. Микропластиктер күн сәулесі мен толқын әсерінен түзіледі, олар мұхитта табылған пластик қалдықтарын күріш дәніндей немесе құм түйіршіктеріндей, микропластиктердің өлшемі шамамен 4,75 мм болатын микробөлшектерге ұсақтайды. Бұл микропластиктер мұхиттың барлық бөліктерінде және көптеген тірі организмдерге азық болады. Олар оны азықпен шатастырады және оны жей бастайды, сондықтан жануарлардың көпшілігі пластик бөліктерін сіңіре алмағандықтан өледі [3].

Суда мөлшері 0,69-дан 3,61 мм-ге дейінгі микропластикалық бөлшектер табылды. Бұл ассортиментке балық аулау торларын және басқа да пластмасса түрлерін өндіруде қолданылатын синтетикалық моножіпті жіптердің фрагменттері кірді. Құм мен балдырлардан шығу тегі белгісіз синтетикалық талшықтардың қалдықтары, нейлон жіптері мен полиэтилен бөліктері табылды. Пластикалық фрагменттердің ұзындығы 14-тен 197 мм-ге дейін, ені - 1-ден 26 мм-ге дейін, салмағы - 0,005-тен 0,19 граммға дейін болды. Суда пластмассадан басқа металл бөлшектері мен кептірілген бояудың іздері де болған [2].

Зерттеу нәтижелері Каспий теңізінде ластану— микропластиктер және басқа да микро және макроартефактілер, соның ішінде пластикалық бөлшектер бар екенін көрсетті. Анықталған микро - және макропластикалар екінші ретгі болып табылады [4].

Ластанудың бұл түрінің көздері синтетикалық полимерлі материалдардан жасалған балық аулау торлары, полиэтилен пакеттер, пластик бөтелкелер және т.б. 2019 жылдың күзінде Түпқараған мүйісі жағалауының әрбір шаршы шақырымында 785,5 кг иесіз қалған торлар және 1 786,0 кг әртүрлі пластик және басқа да қоқыс - қатты тұрмыстық қалдықтар тіркелді [3Error! Reference source not found.].

Микропластиктердің (МП) көпшілігі көзге көрінбейді. Олардың өлшемі нанометрден бастап 5 мм-ге дейінгі диапазонда өзгереді. Әртүрлі зерттеушілер «микропластик» ұғымын әрқалай анықтайды. Мысалы, үлгілерді торлар арқылы алған кезде төменгі шек шамамен 333 нанометрге тең болса, теңіз суында бірнеше нанометрден 500 нанометрге дейінгі бөлшектер кездесуі мүмкін. Ал ірілеу бөлшектер мезопластиктер деп аталады [5].

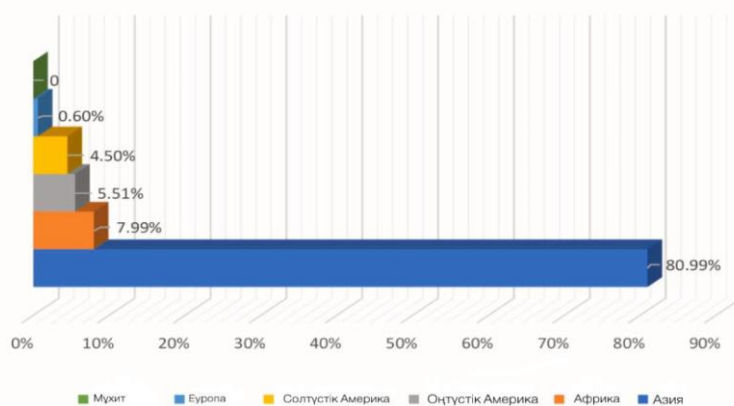
Ұсақ пластик бөлшектер макропластиктің ыдырауы нәтижесінде түзіледі. Сонымен қатар микротүйіршіктер косметикада скрабтар мен тазартқыш құралдар ретінде қолданылады. Өлшемінің кішілігіне байланысты олар сүзгілерде ұсталып қалмай, оңай ағын суларға түседі. Бұл бөлшектер тұрақты органикалық ластағыштарды өзіне тарта алады және олар әсіресе мезоөлшемді бөлшектерде жиналуы мүмкін. Мұндай ластанған бөлшектер су жануарларының ағзасына түскенде, ластаушы заттар қоректік тізбек арқылы әрі қарай таралуы мүмкін [6].

Пластмасса өндірісі әлемнің көптеген елдерінде, соның ішінде Қазақстанда да қарқынды дамып келеді. Соңғы статистикалық мәліметтерге сүйенсек, елімізде 1,5 миллиардқа жуық пластик бөтелке шығарылады. Бұл ретте Қазақстанда пластмасса өңдейтін небәрі 10 кәсіпорын жұмыс істейді. Оның үстіне, әрбір 15 жыл сайын өндірілетін пластмасса көлемі екі есе артады [7].

Ал жаһандық статистиканы қарастырсақ:

1940-жылдардан бастап пластиктің жаппай өндірісі басталғаннан кейін микропластикпен ластану үдерісі үдей түсті. Соңғы отыз жыл ішінде пластик өндірісінің көлемі үш есеге жуық артты, және болжам бойынша, бұл көрсеткіш 2050 жылға қарай 33 миллиард тоннаға жетуі мүмкін. Мәселенің өзектілігіне және оны азайту шараларына қарамастан, жыл сайынғы пластик өндірісі әлі де өсіп келеді — жылына 280 миллион тоннадан астам пластик қалдықтары түзіледі. Бұл қалдықтардың тасымалдануы мен олардың ақырғы тағдыры әлі де толық зерттелмеген. Микропластиктердің негізгі жиналу орындарының бірі — мұхиттар мен теңіз экожүйелері [8,9].

Болжам бойынша, жыл сайын 4,8 - 12,7 миллион тонна пластик мұхитқа түседі. Бұл қалдықтардың шамамен 80%-ы бес азиялық елден: Қытай, Тайланд, Вьетнам, Индонезия және Филиппиннен келеді. Статистика әртүрлі елдердегі пластик қалдықтарын басқару жүйелерінің едәуір айырмашылығын көрсетеді. Мысалы, Үндістан, Индонезия және Нигерия елдерінде дұрыс өңделмеген қалдықтардың индексі жоғары. Ал АҚШ пен Жапония секілді елдерде пластик тұтыну деңгейі жоғары болғанымен, оларда қайта өңдеу жүйесі салыстырмалы түрде тиімді жұмыс істейді [10].



2 сурет - Мұхитты пластикпен жаһандық ластану (1000-нан астам өзен бойынша мәліметтер негізінде, олардың 80%-ы Азиядан бастау алады) [10].

Бүгінгі таңда әлем бойынша пластикпен ластану – жаһандық экологиялық мәселелердің бірі болып отыр. Әсіресе дұрыс өңделмеген пластик қалдықтары топырақ пен су көздерін ластап, тірі ағзаларға қауіп төндіруде. Бұл мәселенің ауқымын тереңірек түсіну үшін біз бірінші кестеге назар аудара аламыз.

1-ші кестеде әлемнің әртүрлі елдері бойынша пластик өндірісі, оны тұтыну, қалдықтарды басқару сапасы және микропластиктің суға түсуі туралы нақты мәліметтер келтірілген. Мұнда, мысалы, Үндістан, Қытай және АҚШ сияқты ірі мемлекеттердің пластик өндірісі мен тұтыну көлемі өте жоғары екенін байқаймыз. Сонымен қатар, кейбір елдерде пластик қалдықтарын дұрыс басқару деңгейі төмен, бұл олардың су көздеріне түсетін микропластик мөлшерінен көрінеді [6].

Осы кестеде көрсетілген мәліметтер бізге әлемдік деңгейде қай елдер экологиялық жағдайды күрделендіріп отырғанын және қандай елдерге ерекше назар аудару қажет екенін анықтауға көмектеседі.

1.2 Әлем бойынша пластик өндірісі мен тұтынуының салыстырмалы көрсеткіштері.

1 кесте - Әлем елдері бойынша пластикпен жаһандық ластану көрсеткіштері (2024): тұтыну, дұрыс өңделмеген қалдықтар және экологиялық әсері (Дұрыс өңделмеген қалдықтар индексі) [8].

Ел	MWI бойынша пластик ластануы (%)	MW I деңгейі	Пластик өндірісі (тонна/жыл)	Дұрыс өңделмеген пластик (тонна/жыл)	Жан басына шаққандағы пластик тұтыну (тонна)	Экспорт (тонна/жыл)	Импорт (тонна/жыл)	Суға түскен микропластик (тонна/жыл)	Химиялық қоспалардан ластану (тонна/жыл)
Үндістан	98.6	Өте жоғары	7408124	7300752	5.3	59260	98860	330764	44535
Қытай	17.4	Төмен	37606230	6546264	26.7	496480	1273710	517699	39932
АҚШ	8.7	Өте төмен	22867246	1992144	69	380350	264760	254667	12152
Индонезия	98.4	Өте жоғары	3366941	3313742	12.4	26940	79080	80414	20214
Пәкістан	91.5	Өте жоғары	790123	723213	3.5	6320	4790	58487	4412
Нигерия	99.4	Өте жоғары	935848	930624	4.5	7490	960	27685	5677
Бразилия	98.0	Өте жоғары	4911580	4811936	23	39290	1250	53708	29353

Бангладеш	98.5	Өте жоғары	579920	571453	3.5	2860		47830	3486
Ресей	97.8	Өте жоғары	3164038	3094976	22	25310	12180	47987	18879
Эфиопия	96.4	Өте жоғары	150254	144867	1.3	5260		13381	884
Мексика	67.2	Жоғары	4049874	2723104	32.1	200880	26090	36238	16611
Жапония	10.9	Өте төмен	3806805	413770	30.2	675660	2540	172872	2524
Филиппин	98.4	Өте жоғары	938218	922969	8.4	78540	7950	31807	5630
Египет	89.4	Өте жоғары	834699	745985	7.8	70	950	31451	4551
Конго	97.8	Өте жоғары	1144387	1118640	12.3	30		10456	6824
Вьетнам	32.0	Төмен	2951900	944959	30.5	131330	713980	27130	5764
Иран	84.4	Өте жоғары	1305605	1102093	15				19684
Түркия	48.0	Орташа	938490	450803	11.2	9580	429770	19827	2750
Германия	8.3	Өте төмен	3568313	297559	42.9	428860	294020	74309	1815
Тайланд	98.5	Өте жоғары	3355763	3304945	46.9	132630	179080	26463	20160

Танзани я	99.6	Өте жоғ ары	126931	126432	2.1	3030	200	7298	771
Ұлыб ритания	12.3	Өте төм ен	208525 4	256610	31.1	149230	45720	59546	1565
Франци я	5.1	Өте төм ен	268009 5	136239	39.7	314320	101040	60757	831
Оңтүст ік Африка	81.8	Өте жоғ ары	101330 3	828949	17.2	8110	5600	12765	5057
Италия	22.0	Төм ен	333585 1	734733	56.1	156940	141810	55704	4482
Кения	99.0	Өте жоғ ары	270850	267861	5.2	2170	50	7512	1634
Мьянм а	99.2	Өте жоғ ары	498431	494335	9.3	6120	30490	14348	3015
Колумб ия	62.4	Жоғ ары	769331	480247	15.1	6150	100	12425	2930
Уганда	99.7	Өте жоғ ары	59786	59613	1.3	510	30	4758	364
Судан	80.5	Өте жоғ ары	359574	289580	8.1				6722
Испани я	16.9	Төм ен	158082 3	267425	33.4	57160	141750	42735	1631
Ирак	98.4	Өте жоғ ары	695106	683664	16.3	480	8950	4170	
Алжир	12.8	Өте төм ен	209200 7	268285	48.1			13747	1637

Аргентина	40.8	Орташа	1236184	503987	27.2	9890	23641		3074
Ауғанстан	98.1	Өте жоғары	447766	439097	11.5	850	9101		2678
Польша	13.5	Өте төмен	1315	177365	34.7	130100	214850	35388	1082
Канада	2.6	Өте төмен	2106603	54061	55.4	386440	426440	29422	330
Марокко	74.4	Жоғары	548160	407884	14.9	4390	2530	5980	2488
Украина	59.4	Орташа	1066942	633696	24.2	8540	37140	32866	3866
Ангола	94.4	Өте жоғары	568842	536821	17	4550	210	8184	3275
Сауд Арабиясы	70.2	Жоғары	2105362	1478568	58.5	43530	30	26737	9019
Өзбекстан	98.2	Өте жоғары	100000	98225	2.9	800	14400	8212	599
Йемен	97.8	Өте жоғары	384783	376318	11.9			3581	2296
Мозамбик	99.9	Өте жоғары	105235	105074	3.4	860	640	3671	641
Гана	88.0	Өте жоғары	141531	124522	4.4	1130	910	4026	760
Перу	94.5	Өте жоғары	597668	564722	17.9	4780	5230	8251	3445

Малайзия	76.4	Жоғары	1371397	1047735	41.3	25650	589970	11789	6391
Непал	93.8	Өте жоғары	267823	251325	9.1	2140	8995		1533
Мадагаскар	99.8	Өте жоғары	299816	299232	10.6	2400		3349	1825
Кот-д'Ивуар	98.0	Өте жоғары	473230	463511	17.7	3790	3210	7102	2827
Венесуэла	53.2	Орташа	1200487	638790	42.1			8029	3897
Камерун	87.5	Өте жоғары	107930	94400	4.1	30		7425	576
Нигер	98.2	Өте жоғары	37313	36656	1.5			1304	224
Австралия	9.3	Өте төмен	1160779	107851	45.2	165690	17020	33117	658
Сирия	94.6	Өте жоғары	315000	297944	15.2	2679		1817	
Мали	97.1	Өте жоғары	38747	37626	1.8	2740	60	2133	230
Тайвань	4.5	Өте төмен	1484073	66635	62	32765			406
Буркина-Фасо	94.1	Өте жоғары	231773	217974	10.8	1850	170	4140	1330

Шри-Ланка	92.1	Өте жоғары	184216	169645	8.4	1470	10369		1035
Малави	97.2	Өте жоғары	103247	100392	5.3	830	140	2255	612
Замбия	94.0	Өте жоғары	277947	261284	14.7	2840	50	2630	1594
Қазақстан	94.1	Өте жоғары	1164935	1096651	62.1	9320	10	58878	6690

Бұл адамзат тарихындағы кез келген жасанды материалдың ең жылдам өсуі. Бұл өсуді күнделікті өмірімізде байқаймыз: пластик дерлік барлық жерде және бәрінде қолданылады. Пластмасса біздің заманауи әлемде көптеген жерлерде кездеседі: біздің үйімізде, көліктерімізде, жұмыс орындарымызда, электроникада, балалар ойыншықтарында, балабақшаларымызда тіпті дәрі-дәрмектерде.

1.3 Пластиктің түрлері

Пластмасса – ұнай, газ немесе көмірден алынатын синтетикалық материал. Оның негізгі түрлері: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол, полиэтилентерефталат (ПЕТ) және басқалар.

Пластмассалардың жоғары беріктігі, икемділігі, жеңілдігі және химиялық заттар мен ылғалға төзімділігі сияқты бірқатар ерекше қасиеттері бар. Осы қасиеттердің арқасында пластик өмірдің алуан түрлі салаларында таптырмас материал болды: орау материалдары мен тұрмыстық техниканы өндіруден бастап құрылыс пен медицинаға дейін. Дегенмен, пластиктің де кемшіліктері бар. Олардың негізгілерінің бірі оның табиғатта ыдырау жылдамдығының баяу болуы, бұл қоршаған ортада пластикалық қалдықтардың жиналуына және ұзақ мерзімді ластанулардың пайда болуына әкеледі.

Пластик түрлері:

1. Полиэтилен (ПЕТ)

Құрамы: Этилен полимері.

Пластик түрлері:

1.1 Жоғары тығыздықтағы полиэтилен: Бөтелкелерді, контейнерлерді, құбырларды және ойыншықтарды жасау үшін қолданылады.

1.2 Төмен тығыздықтағы полиэтилен: пленкаларды, қаптарды, түтіктерді және кабельді оқшаулауды өндіру үшін қолданылады.

2. Полипропилен (ПП)

2.1 Құрамы: пропилен полимері.

2.2 Қолданылуы: Автомобиль бөлшектерін, жиһаздарды, тоқыма бұйымдарын, медициналық аспаптарды, тамақ өнімдерін қаптамаларды өндіру.

3. Поливинилхлорид (ПВХ)

3.1 Құрамы: Винилхлоридті полимер.

3.2 Қолданылуы: Терезе жақтауларын, су құбырларын, едендерді, аяқ киімдерді, киімдерді, медициналық жабдықтарды өндіру.

4. Полистирол

4.1 Құрамы: стирол полимері.

Түрлері:

5. Кәдімгі полистирол: бір рет қолданылатын ыдыс-аяқтарды, қаптамаларды, ойыншықтарды өндіру үшін қолданылады.

6. Соққыға төзімді полистирол: автомобиль өнеркәсібінде, электроникада және құрылыста қолданылады.

7. Полиэтилентерефталат

7.1 Құрамы: этиленгликоль және терефтал қышқылының полимері.

7.2 Қолданылуы: Сусын бөтелкелері, азық-түлік контейнерлері, киімдер, автомобиль бөлшектері, медициналық құрылғылар.

8. Акрилонитрил бутадиен стирол

8.1 Құрамы: акрилонитрил, бутадиен және стирол қоспасы.

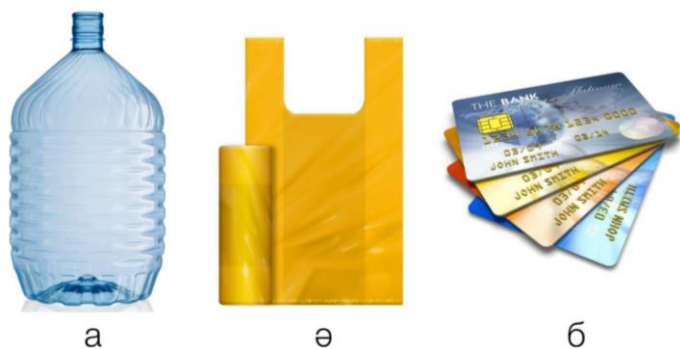
9. Қолданылуы: Электроника корпустарын, автомобильдерді, ойыншықтарды, құрылыс материалдарын өндіру.

10. Поликарбонат

10.1 Құрамы: көмір қышқылының және бисфенолдардың полимері.

10.2 Қолданылуы: Қорғаныс көзілдірігі, компакт-дискілер, нәресте бөтелкелері, медициналық құрал-жабдықтар, автокөлік фаралары.

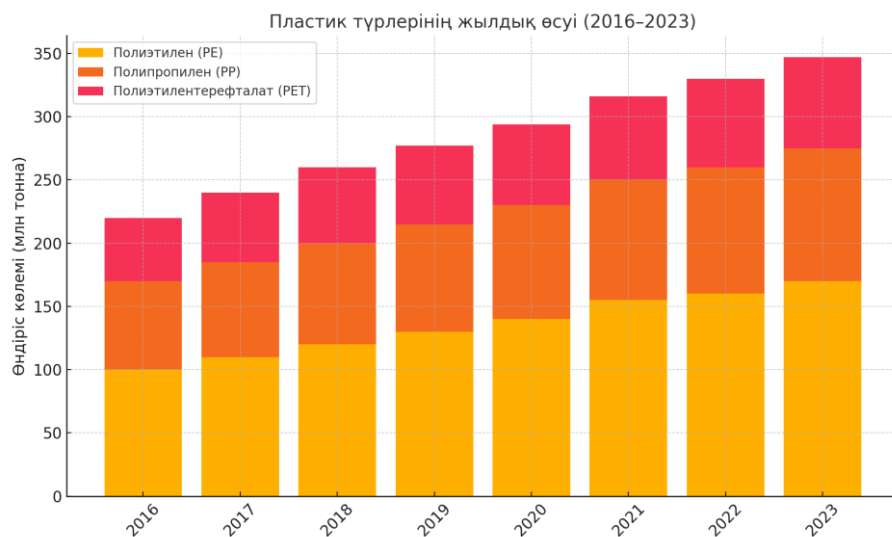
Синтетикалық полимерлердің иілімділігі немесе пішінін өзгертуге мүмкіндік беретін икемділігі бар түрлері пластик деп аталады [11]. Пластиктің құрамы негізінен көміртек, оттегі, сутек, кремний және хлоридтерден тұратын ұзын тізбекті полимерлерден құралады. Бұл полимерлер көмірден, мұнайдан және табиғи газдан алынады [12]. Пластик өндірісінің 90%-ын құрайтын ең кең таралған синтетикалық полимерлерге полиэтилен (ПЭ), полиамид (ПА), полипропилен (ПП), полиэстер (ПЭС), полиуретан (ПУ), акрил (АС), полистирол (ПС), полиэтилентерефталат (ПЭТ), поливинилхлорид (ПВХ), жоғары тығыздықтағы полиэтилен, төмен тығыздықтағы полиэтилен, полиамид, полиметилметакрилат (ПММА), политетрафторэтилен, поливинилхлорид (ПВХ) және жоғары тығыздықтағы полиэтилен жатады [13, 14].



3 сурет. а- бөтелке, ПЭТ (полиэтилентерефталат), ә - ПЭ (полиэтилен) пакет , б- банк карталары, ПВХ (поливинилхлорид).



4 сурет. а – пластик ыдыстар ПП (полипропилен немесе поликарбонат негізінде), ә – бір реттік пластик шприцтер (полипропиленнен жасалған), б –құбыр жүйелерінде қолданылатын пластик құбырлар ПВХ (поливинилхлорид).



5 сурет - Бағанды диаграмма. Бұл диаграмма 2016–2023 жылдар аралығындағы PE, PP және PET пластик түрлерінің жаһандық өндіріс көлемін көрсетеді.

Бұл гистограмма 2016–2023 жылдар аралығындағы полиэтилен, полипропилен және полиэтилентерефталат өндірісінің жаһандық өсуін көрсетеді. Полиэтилен – ең көп қолданылатын пластик, оның өндірісі 100 млн тоннадан 170 млн тоннаға дейін өсті [15].

Полипропилен де тұрақты өсім көрсетті, себебі ол кең ауқымды салаларда қолданылады. ПЭТ (полиэтилен) негізінен бөтелкелер мен синтетикалық маталарда пайдаланылады. Гистограммада әр пластик түрі қабатталып көрсетілген, бұл олардың жалпы үлесі мен салыстырмалы маңыздылығын көрсетеді. Мәліметтер пластикке деген жаһандық сұраныстың артуын және қоршаған ортаға төнетін қауіптің күшейгенін дәлелдейді [4].

Жоғарыда атап өткендей пластиктің кіші өлшемі микропластик деп аталады. Микропластиктер - бұл қоршаған ортада жиі кездесетін, өлшемі 5 мм-ден аз пластиктің ұсақ бөлшектері. Олар мұхиттарға, топыраққа және тіпті адам ағзасына әсер ететін ең күрделі экологиялық проблемаларының бірі болып табылады.

Микропластиктердің қауіптілігі - олар қарапайым микроорганизмдерден бастап ірі теңіз жануарлары мен адамдарға дейін қоректік тізбектерге оңай енеді. Микропластиктерді тұтынатын жануарлар ас қорытудың бітелуіне, зат алмасуының бұзылуына және микропластиктер қоршаған ортадан адсорбцияланатын улы заттарға байланысты физиологиялық бұзылыстарды сезінуі мүмкін.

Микропластиктердің екі түрі бар:

Бастапқы - арнайы өнеркәсіптік жолмен өндірілетін және косметика мен гигиеналық өнімдерде қолданылады;

Екіншілік - процесс кезінде пайда болатын пластик қалдықтарының ыдырауы.

Алайда, микропластиктің барлық көздерін жойсақ, мұхит пен топырақта адам ағзасына ену үшін әлі де көп нәрсе бар екенін анықталды. Ғалымдар микропластикалық бөлшектерді арктикалық мұздан, медузадан, кәдімгі шаңнан, итбалық нәжісінен, ағын судан, медузадан, тұздан, балдан және адам ағзасына табылған.

1.Автокөлікті пайдалану: шиналар асфальтқа үйкеліп, ұсақ пластикалық шаң түзеді.

2.Жуу кезінде - синтетикалық кезінде микропластикалық бөлшектерді шығарады.

Бір қызығы, микропластикалық бөлшектер тек қана дүниежүзілік мұхиттарда емес, сонымен қатар бөтелкедегі суда табылған. Америкалық ғалымдардың зерттеулеріне сәйкес, пластик ыдыстардан адам ағзасына түсетін сұйықтықтың әрбір литрінде 325 микропластикалық бөлшектер болады [7].

Ағзаға енгеннен кейін микропластика күрделі түрде әсер етеді. Ол асқазан мен ішектен қанға еніп, бүкіл денеге таралып, әртүрлі органдарда, соның ішінде бауыр мен бүйректе жиналуы мүмкін. Егер микропластика өкпеге енсе, бұл тіндердің механикалық зақымдалуына және қабыну реакцияларына әкелуі мүмкін. Денедегі микропластиктердің жиналуы канцерогендік әсерлерді, жасуша мутацияларын және ісіктердің пайда болуын тудыруы мүмкін.

Сонымен қатар, микропластиктер пестицидтер мен ауыр металдар сияқты әртүрлі улы заттардың тасымалдаушысы ретінде де олардың таралуын және қоршаған ортаға әсерін арттырады. Микропластиктер пластмассадан жасалған

каптамалар мен материалдарды пайдалану арқылы да топыраққа сіңіп кетуі мүмкін, бұл ақыр соңында өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсер етеді.

Тұтастай алғанда, микропластиктер экожүйелерге үлкен қауіп төндіреді және осы саладағы зерттеулер пластикті пайдалануды азайту және қоршаған ортаны қорғау стратегияларын құрау. Осы жұмыста біз судан тазарту әдістерін қарастырамыз. Фотокаталитикалық әдістермен микропластик бөлшектерін ыдыратып, су құрамын ішуге жарамды ететін әдістерін қарастырамыз.

1.4 Суды тазалау әдістері

Микропластиктерді судың ішінде ыдыратудың физикалық және химиялық әдістері бар.

Физикалық әдістерін қарастыратын болсақ олардың 5 әдісі бар:

1. *Флотация*: микропластикалық бөлшектердің химиялық заттардың арқасында су бетіне көтерілу процесі.

2. *Ультрадыбыстық*: микропластиктерді суда ыдырату үшін ультрадыбыстық толқындарды пайдаланады.

3. *Тотығу*: судағы микропластиктерді ыдырату үшін хлор немесе озон сияқты тотықтырғыштарды қолдану.

4. *Арнайы сорбенттерді қолдану*: судағы микропластикалық бөлшектерді өзіне сіңіре алатын материалдар.

5. *Фотокаталитикалық әдіс*: Ультракүлгін сәулеге ұшыраған кезде титан диоксиді (TiO_2) сияқты фотокатализаторларды пайдалану микропластиктердің көмірқышқыл газы мен суға ыдырауына әкелуі мүмкін.

Флотация – қатты заттарды олардың гидрофобтылығының (суды қайтару қабілеті) айырмашылығына негізделген бөлудің физикалық әдісі. Ол кен өндіру өнеркәсібінде кен жыныстарынан пайдалы қазбаларды алу үшін, сондай-ақ ағынды суларды тазарту үшін кеңінен қолданылады. Дегенмен, микропластиктерді ыдырату үшін флотацияны пайдалану біршама қиын және аз таралған тәсіл болып табылады.

Пластмасса түрлерінің көпшілігі табиғаты бойынша гидрофобты болып табылады, бұл оларды флотация процесіне өте қолайлы етеді. Бұл микропластиктердің ауа көпіршіктеріне оңай жабысып, су бетіне көтерілетінін білдіреді. Флотация үлкен және орташа өлшемді микропластикалық бөлшектер үшін ең тиімді. Өте кішкентай бөлшектер үшін (< 100 мкм) бұл әдіс тиімсіз, өйткені мұндай бөлшектердің ауа көпіршіктеріне енуі қиынырақ. Кейде флотация процесін жақсарту үшін коллекторлар мен көпірткіштер деп аталатын арнайы химиялық заттар қосылады.

Ультрадыбыстық әдіс - сұйық ортада акустикалық тербелістерді тудыратын жоғары жиілікті дыбыс толқындарын (әдетте 20 кГц-тен жоғары) пайдаланып сұйықтыққа әсер ету әдісі. Бұл әдіс микропластиктерді ыдырату үшін белсенді түрде зерттелуде, өйткені ол полимерлердің құрылымында механикалық және химиялық өзгерістерді тудыруға қабілетті.

Ультрадыбыстық толқындар сұйықтық арқылы өткенде, олар микроскопиялық газ көпіршіктерінің пайда болуына және жойылуына әкеледі, бұл құбылыс *кавитация* деп аталады. Бұл көпіршіктер жойылған кезде олар өте жоғары қысым мен температураның жергілікті (экстремальный) аймақтарын жасайды, бұл микропластикалық молекулалардың бұзылуына әкелуі мүмкін.

Ультрадыбыстық әдіс микропластикамен күресудің ең перспективалық физикалық әдістерінің бірі болып қала береді. Осы әдістеменің тиімділігін арттыру, соның ішінде ультрадыбыстық параметрлерді оңтайландыру, аралас тәсілдерді әзірлеу (мысалы, ультрадыбысты басқа әдістермен біріктіру) және үнемді қондырғыларды жасау үшін зерттеулер жалғасуда.

Тотығу әдісі – органикалық қосылыстарды, соның ішінде микропластиктерді ыдырату үшін тотықтырғыштарды қолданатын химиялық процесс. Тотығу реакциялары су және көмірқышқыл газы сияқты қарапайым және тұрақты қосылыстардың түзілуіне әкеледі. Микропластикалық деградация жағдайында тотығу әртүрлі тотықтырғыштармен жүреді.

Тотығу әдісі 2 негізгі топқа бөлінеді:

1. Химиялық тотығу

1.1 Сутегі асқын тотығы (H_2O_2): Сутегі асқын тотығы – органикалық қосылыстарды, соның ішінде пластмассаларды ыдырататын күшті тотықтырғыш. Катализатордың (мысалы, темір) әсерінен полимер тізбектерін бұза алатын гидроксид (ОН) радикалдарын тудыратын Фентон реакциясы жүреді.

1.2 Озон (O_3): Озон күшті тотықтырғыш қасиеттерге ие және пластмассалардың көптеген түрлерін тиімді түрде бұза алады. Озондау әсіресе полиэтилен және полипропилен сияқты полиолефиндердің ыдырауы үшін пайдалы.

2. Фотототығу - бұл әдіс ультракүлгін сәуленің әсерінен титан диоксиді (TiO_2) сияқты фотокатализаторларды қолдануды қамтиды. Жарық фотондары TiO_2 -де электрондарды қоздырады, полимер тізбектерін бұзатын тотығу реакцияларын бастайтын электронды-тесік жұптарын жасайды.

Ал мен қарастырып жатқан әдіс фотокаталитикалық әдіс. Фотокаталитикалық әдістердің бірнеше әдістері бар. Мысалы:

1. *Фотокаталитикалық тотығу*: Бұл әдісте микропластикалық ластанған бет ультракүлгін сәулемен сәулелендіріледі, ол катализатор, әдетте титан диоксиді қатысуымен фотокаталитикалық процесті белсендіреді. Бұл микропластиктердің кішірек бөлшектерге немесе иондарға ыдырауына әкеледі, содан кейін оларды қоршаған ортадан оңай жоюға болады.

1.1 *Жартылай өткізгіш негізіндегі фотокатализаторларды қолдану арқылы фотокаталитикалық тотығу*: Бұл әдіс жарыққа ұшыраған кезде микропластиктердің ыдырауына ықпал ету үшін мырыш диоксиді немесе темір оксиді сияқты жартылай өткізгіш фотокатализаторларды пайдаланады.

2. *Ультракүлгін жарықдиодты шамды қолдану арқылы фотокаталитикалық тотығу*: Бұл әдіс микропластиктердің

фотокаталитикалық ыдырауын белсендіру үшін жарықдиодты ультракүлгін сәулелені қолдануға негізделген.

Фотокаталитикалық ыдырау – жоғары концентрациясы, күрделілігі және биологиялық ыдырағыштығы төмен ластаушы заттарды ыдырату үшін қолданылатын тотығу процесі.

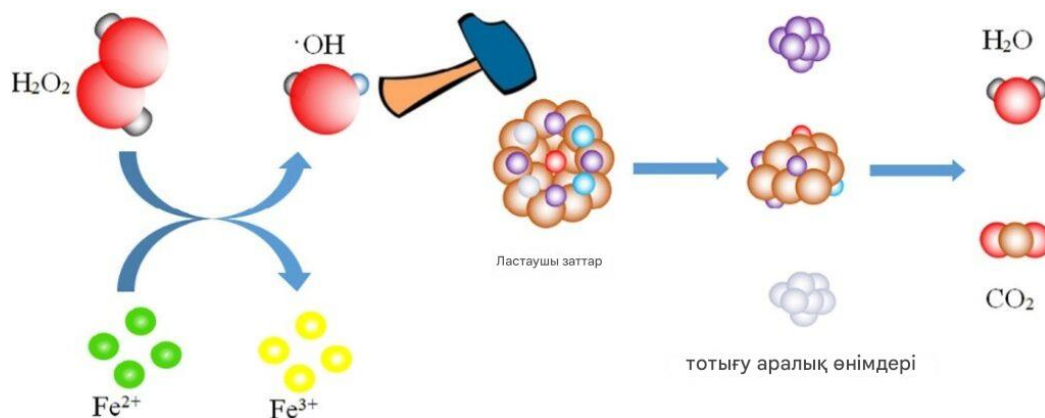
Фотокатализ – катализатор мен жарық сәулеленудің біріккен әрекетінен химиялық реакцияның үдеуі.

Фотокатализатор - бұл стимуляцияны тудыратын зат, ол химиялық реакцияға қатыспастан реакция жылдамдығын өзгертеді.

Фотокаталитикалық Фентон және фото-Фентон көмегімен суды тазарту әдістері

Фентон әдісі суды көптеген органикалық ластағыштардан, соның ішінде мұнай өнімдерінен, пестицидтерден, бояғыштардан және басқа тұрақты қосылыстардан тазарту үшін пайдаланылуы мүмкін. Дегенмен, ол ортаның рН-ын дәл бақылауды және реагенттерді қосуды талап етеді, бұл оны кең ауқымды қолдану үшін ыңғайлы етеді.

Фото-Фентон - Фентон процесін белсендіру үшін ультракүлгін сәулелені (УК) пайдалану реакция жылдамдығын арттырады және қиын ластаушы заттарды кетіруді жақсартады. Ультракүлгін сәулелену темірдің (II) азияуына және қосымша гидроксил радикалдарының пайда болуына ықпал етеді.



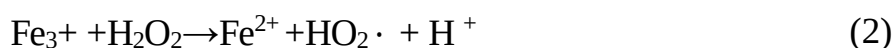
6 сурет – Фентон процессінің жүруі [16].

Фентонның фотокаталитикалық реакциясы және оның вариациялары суды ластаушы заттардың кең ауқымынан тазартудың ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Бұл процестер жоғары тотығу қабілетіне ие және ең тұрақты органикалық заттарды да жоя алатын гидроксил радикалдары ($\cdot OH$) сияқты құрамында оттегі бар реактивті түрлердің пайда болуына негізделген.

Фентон процесі қышқыл ортада гидроксил радикалдарын құру үшін темір (II) тұздарын (Fe^{2+}) және сутегі асқын тотығын (H_2O_2) пайдаланады. Реакция келесідей жүреді:



Бұл жағдайда темір (III) қайтадан темірге (II) тотықсызданады:



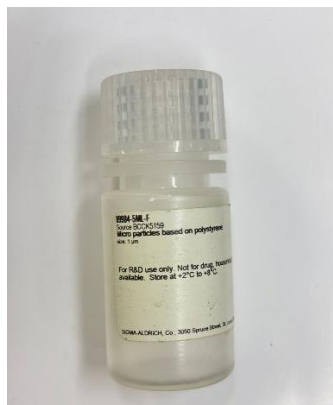
Пластик өте төзімді және беті суға жабыспайтын (гидрофобты) болғандықтан, оны тез әрі тиімді ыдырататын тірі ағзаларды табу қиын [17]. Тағы бір әдіс - микропластикті арнайы сүзгілермен (мембраналық технологиялар) тазарту. Бірақ зерттеулер көрсеткендей, бұл әдіспен микропластикті толығымен жою мүмкін емес, әрі сүзгілерді жиі тазалап, қалдықты жою қиын [18]. Соңғы кезде микропластикпен ластанған суды тазартудың қосымша тәсілі ретінде жетілдірілген тотығу процестері (ЖТП) қолданылып жүр. Бұл әдістің негізінде — өте белсенді химиялық бөлшектер (радикалдар) түзіліп, олар ластаушы заттарды тез бұзады. Бұл әдіс тек бір ғана затқа емес, бірден бірнеше түрлі ластаушы заттарға әсер ете алады [19]. Фентон реакциясына негізделген жетілдірілген тотығу процестері (ЖТП) органикалық макро- және микроластаушыларды тотығу үшін кеңінен қолданылады [20]. Фентон әдісіне негізделген процестердің басты артықшылықтарының бірі - қондырғы құрылымының салыстырмалы түрде қолданылатын реагенттердің экологиялық қауіпсіздігі және тазалау үдерісінің жеңілдігі. Сонымен қатар, бұл процестер бөлме температурасында және атмосфералық қысымда жүргізіледі, бұл экономикалық тұрғыдан қосымша артықшылық береді.

Фентон процестері құрамында әртүрлі қоспалар бар ортада тиімді жұмыс істей алады және күрделі органикалық ластаушылардың жоғары минералдануына қол жеткізеді [21-23].

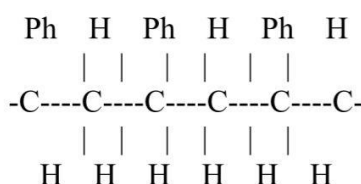
2. ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ

2.1 Қолданылған материалдар мен реагенттер

Фотокаталитикалық әдіс көмегімен микропластиктерді ыдырату.
Мен қолданатын микропластик сұйық күйдегі полистирол C_8H_8 .

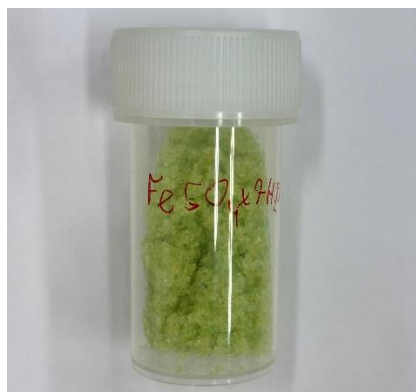


7 сурет - Сұйық күйдегі микропластик полистирол.

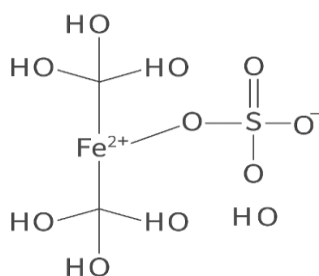


8 сурет - Полистирол құрылымдары.

Құрылымдық жағынан полистирол ұзақ көмірсутек тізбегі болып табылады, әрбір екінші көміртек атомына фенил радикалы (бензол сақинасы) қосылған. Стирол мономерінің химиялық формуласы $C_6H_5CH=CH_2$. Полимерлену процесінде винил тобындағы көміртек атомдары арасындағы қос байланыс ($CH=CH_2$) үзіліп, стирол мономерлері қосылып, ұзын полимер тізбегін құрайды. Полистиролдың жалпы химиялық формуласы $(C_8H_8)_n$, мұндағы n – полимерлену дәрежесі, полимер тізбегіндегі мономер бірліктерінің санын көрсетеді.



9 сурет - темір(II) сульфаты гептагидрат ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).



10 сурет - $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ құрылымы.

Fe^{2+} — темір (II) ионы, SO_4^{2-} — сульфат-анионы, $7\text{H}_2\text{O}$ — жеті су молекуласы (кристалдану суы).



11 сурет — хлорсутек қышқылы.

Фентон процесі қышқыл ортада (pH 2–4 аралығы) тиімді жүреді. Бұл ортада Fe^{2+} ионы сутек асқын тотығымен (H_2O_2) әрекеттесіп, жоғары белсенді гидроксил радикалдарын ($\bullet\text{OH}$) түзеді. Сондықтан реакциялық ерітіндінің pH мәнін қажетті деңгейге дейін төмендету үшін тұз қышқылы (HCl) пайдаланылды. Бұл ерітіндінің қышқылдығын арттырып, радикал түзілуін күшейтеді.

2.2 Реакция ерітіндісін дайындау әдісі

2 кесте – Реагенттердің мөлшерлері мен мақсаты.

№	Компонент	Мөлшері	Мольдік мөлшері (моль)	Мақсаты / Түсініктеме
1	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,139 г	0,0005	Fe ²⁺ иондарының көзі (Фентон реакциясының катализаторы)
2	H ₂ O ₂ (1-доза)	43,5 мл (3%)	~0,038	Гидроксил радикалдарын түзу
3	Реакция температурасы	35 °C		Радикалдардың белсенділігін арттыру
4	Араластыру	Тұрақты араластырғыш		Ортадағы біркелкілікті қамтамасыз ету
5	Полистирол (микропластик)	1 мл		Модельді ластаушы (тотығуға ұшырайды)
6	H ₂ O ₂ (2-доза)	3,25 мл (3%)	~0,0029	Радикалдық процесті қолдау
7	pH реттеу (HCl)	5 тамшы		pH ~3 деңгейіне дейін — Фентон үшін оңтайлы
8	H ₂ O ₂ (3-доза)	3,25 мл (3%)	~0,0029	Минерализация процесін күшейту
9	Бақылау	Көпіршіктер (бір күннен кейін)		O ₂ көпіршіктері — органиканың ыдырау белгісі

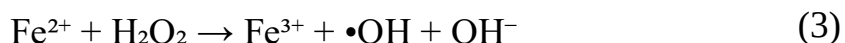
Фентон процесін жүргізу үшін бірнеше негізгі компоненттер мен шарттар қолданылды. Темір (II) сульфаты (FeSO₄·7H₂O) – реакцияда Fe²⁺ иондарының көзі ретінде катализатор қызметін атқарды. Сутек асқын тотығы (H₂O₂) үш дозаға бөлініп енгізілді: бірінші доза гидроксил радикалдарын (•OH) түзуге қажет болса, екінші және үшінші дозалар радикал концентрациясын арттырады. Реакция температурасы 35°C шамасында ұсталып, радикал түзілу жылдамдығын арттыруға ықпал етті. Барлық реакция тұрақты араластыру арқылы жүргізілді,

бұл реагенттердің біркелкі таралуын және тиімді әрекеттесуін қамтамасыз етті. Полистирол микропластиктері ыдырауға ұшырайтын модельді үлгі ретінде қолданылды (1 мл). Реакциялық ортаның рН мәні Фентон процесі үшін оңтайлы диапазон болып саналатын 2–3 аралығында ұсталды.

12 сурет – Ph мәні 2-3 аралығында.

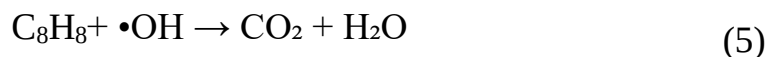
2.3 Фентон процесінің жұмыс істеу механизмі.

Фентон реакциясының негізгі механизмі келесі кезеңдермен жүреді:

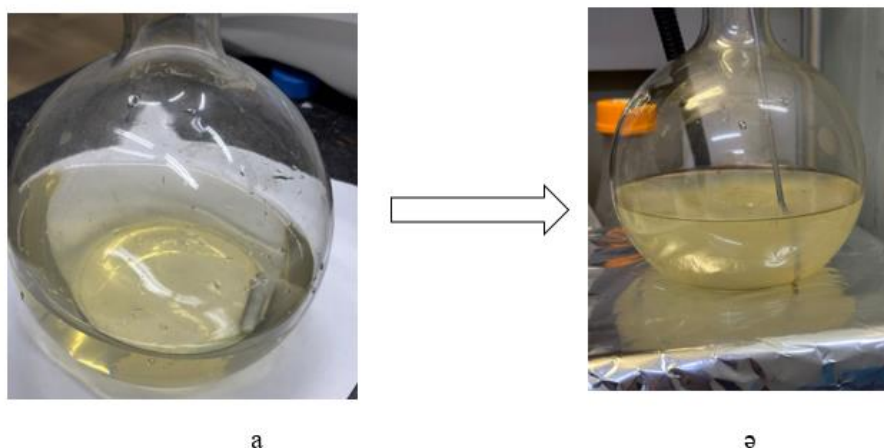




3-қадам. Мұндағы ПС – полистирол (сұйық микропластик). Гидроксил радикалы ($\bullet\text{OH}$) микропластик молекуласының құрылымына шабуыл жасап, оны бұзады. Бұл процесте аралық органикалық қосылыстар түзіледі, олар әрі қарай толық минералдануға дейін (CO_2 және H_2O) ыдырай алады.

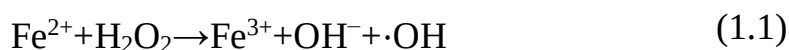


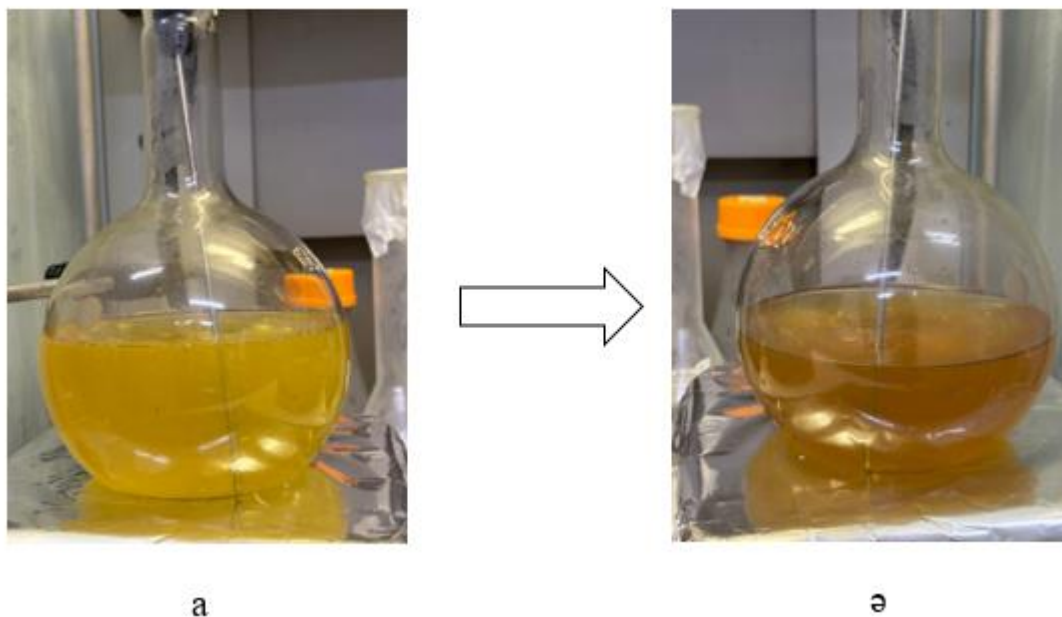
2.4 Фентон реакциясының кезеңдері



13 сурет - а –Дайындалған ерітінді; б – ерітіндіні біркелкі араластырғышқа қойылды.

Эксперименттің басталуында 0,139 г сульфат темірі (FeSO_4) қосылды. Содан кейін 43,5 мл H_2O_2 (сутегі асқын тотығы) қосылып, ерітінді 35°C температурада араластырылды. Осы кезде темір иондары Fe^{2+} күйінде ерітіндіде болды, және H_2O_2 оларды Fe^{3+} күйіне дейін тотығады, бұл өз кезегінде ерітіндінің түсін өзгертті. Алғашында түсі ашықтау болған ерітінді қызғылт-сары түске өзгерді, себебі Fe^{2+} -тен Fe^{3+} -ке дейін тотығу реакциясы жүрді.





14 сурет. а - H_2O_2 реагентін қосып бастаған кездегі өзгеріс, ә - H_2O_2 әсерінен қоңыр сарғыш реңкке ауысуы.

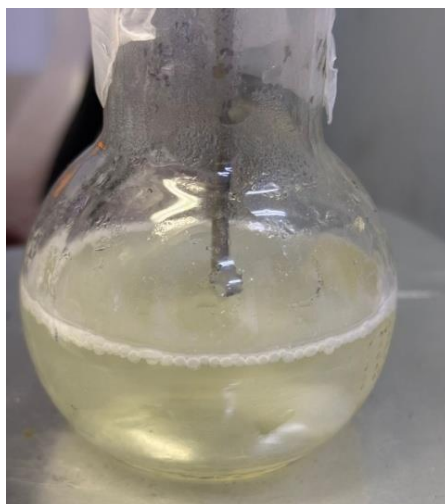
Микропластик қосылғаннан кейін ерітінді түсінің өзгеруі байқалды. Микропластиктің қосылуы түссіз ерітіндіні сәл бұлыңғыр және қызғылт-сары түске айналдырды. Ерітіндіге қайтадан H_2O_2 қосылған кезде, бұл темір иондарының одан әрі тотығуын және реакцияның күшеюін тудырды. Соның нәтижесінде ерітіндінің түсі сары түске айналды.



15 сурет – $\text{pH}=3$ -ке келтірілді.

HCl (сутек хлориді) қосылғанда, ерітіндінің pH мәні 3-ке дейін төмендетілді. Бұл жағдайда Fe^{3+} иондарының қосымша комплекстерін түзуі нәтижесінде ерітіндінің түсі қоңыр түске өзгерді. Темірдің қышқылдық ортада кешендер түзуі мен басқа химиялық өзгерістер бұл түсті өзгертті.



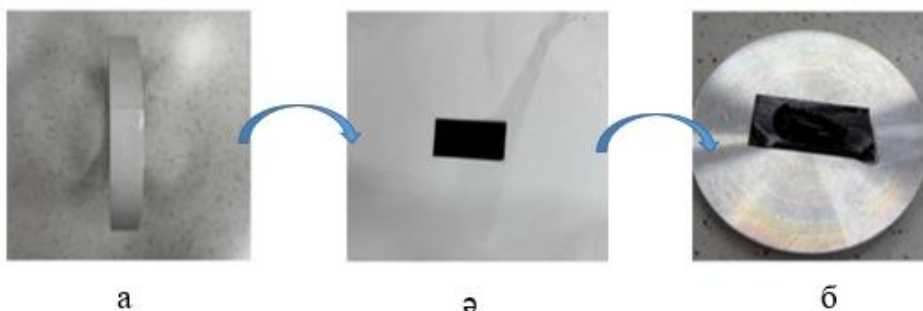


16 сурет – 1 күннен кейін O_2 көпіршіктері. Органикалық ыдырау белгісі.

H_2O_2 қосылғаннан кейін Fe^{2+} иондарының тотығуы және гидроксил радикалдарының ($\bullet OH$) түзілуі басталады. Реакция нәтижесінде бөлінген оттегі (O_2) ерітінді бетінде көпіршіктер түрінде байқалады. Бұл газ фазасының түзілуі — H_2O_2 ыдырау реакциясының бірден-бір дәлелі:



2.5 Үлгіні СЭМ талдауына дайындау



17 сурет. а – бастапқы көміртекті жабыстырғыш жолақ,
ә – қажетті мөлшерде қиылып дайындалған жабыстырғыш жолақ бөлігі,
б – дайын үлгіні алюминий ұстағыш бетіне ток өткізгіш жабыстырғыш жолақпен бекіту.

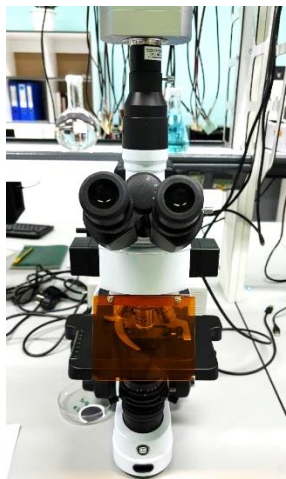
Үлгі дайындау барысында алдымен көміртекті жабыстырғыш жолақтың қажетті мөлшері кесіледі. Содан кейін, сұйық түрдегі үлгі осы жабыстырғыш жолақ бетіне тамызылып, $40^\circ C$ температурада шамамен 10 минутқа кептіріледі. Бұл әрекет 4 рет қайталанады – яғни әр қабат сайын сұйықтық жағылады және кептіріледі. Осылайша бірнеше қабаттан тұратын біркелкі және зерттеуге жарамды үлгі алынады. Кептірілген соң, үлгі алюминий ұстағыш бетіне ток өткізгіш көміртекті жабыстырғыш жолақ арқылы бекітіледі. Бұл дайын үлгі сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) арқылы зерттейді.

2.6 Физико-химиялық зерттеу әдістері

Оптикалық микроскоп.

Объектінің морфологиялық ерекшеліктерін зерттеу мақсатында оптикалық микроскопия әдісі қолданылды. Бұл әдіс үлгінің беткі құрылымын және бөлшектердің өлшемін визуалды бақылауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында зертханалық жағдайларда орнатылған оптикалық микроскоп (модель: *Axio Lab.A1*, Carl Zeiss) пайдаланылды. Микроскоп бірнеше объективпен жабдықталған, олар үлкейту шамасын өзгертуге мүмкіндік береді (4×, 10×, 40×, 100×).

Суретке түсіру үшін микроскопқа арнайы цифрлық камера (DCI 200i) орнатылды, бұл алынған микробейнелерді сандық форматта талдауға мүмкіндік берді. Үлгіні дайындау үшін микрокапсулалардың немесе микропластик бөлшектерінің бір тамшысын шыны пластинаға жағып, жабын әйнекпен жапты. Зерттеу қорытындысы бойынша бөлшектердің формасы мен біркелкілігі, агрегация деңгейі анықталды.



18 сурет – Оптикалық микроскоп.

Сканерлеуші электрондық микроскоп.

Үлгілердің морфологиялық құрылымын зерттеу үшін Quanta 3D 200i маркалы сканерлеуші электрондық микроскоп (FEI, АҚШ) пайдаланылды. Бұл құрылғы фокусталған ионды сәуле, энергия дисперсиялық спектрометр және кристаллографиялық талдау жүйесімен жабдықталған көп функциялы құрылғы болып табылады. Quanta 3D 200i түрлі материалдардың беткі морфологиясын, химиялық құрамын және құрылымын зерттеуге мүмкіндік береді.

Микроскопта локальді химиялық элементтік талдау жүргізу үшін энергетикалық рұқсаты 128 эВ болатын, терезе өлшемі $d = 0,3$ мм жартылайөткізгішті детекторы бар EDAX энергодисперсиялық рентген спектрометрі орнатылған.



19 сурет - Сканерлеуші электрондық микроскоп.

Лазерлік бөлшек өлшемін талдаушы анализатор

Winner 2005A лазерлік бөлшек өлшемін талдаушы анализаторы - динамикалық жарық шашырау (DLS) әдісіне негізделген құрылғы. Бұл құрал әртүрлі үлгілердегі бөлшектердің нақты өлшемін және олардың таралуын анықтау үшін қолданылады. Өлшеу диапазоны шамамен 10 нм-ден 10 мкм-ге дейін, бұл оны микро және наноөлшемдегі бөлшектерді зерттеуге тиімді құрал етеді.

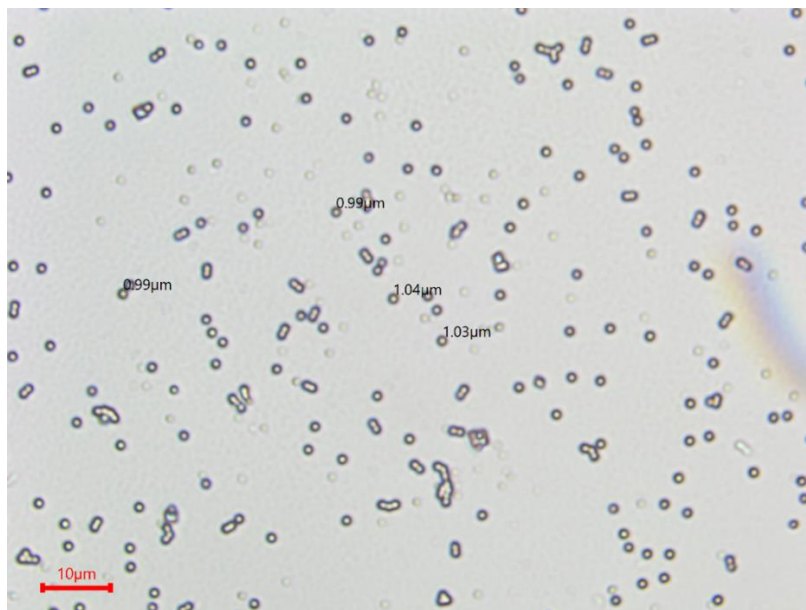
Құрылғының жұмыс істеу принципі - үлгідегі бөлшектерге бағытталған лазер сәулесінің шашырауына негізделеді. Бөлшек өлшеміне байланысты жарықтың шашырау бұрышы өзгереді. Осы оптикалық сигналдарды өңдеу арқылы құрылғы бөлшектердің орташа диаметрін таралу ауқымын және концентрациясын анықтайды. Зерттеу барысында бұл құрал полистирол микропластигінің Фентон процесінен кейінгі құрылымдық өзгерістерін бақылау үшін қолданылды. Нәтижесінде, бөлшек өлшемдерінің шамамен 600–1400 нм аралығында екені анықталды. Бұл дерек деградация процесінің жүргенін және полимер тізбектерінің ыдырауын дәлелдейді.



20 сурет - Winner 2005A лазерлік бөлшек өлшемін талдау құрылғысы.

3 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Оптикалық микроскоп талдауының нәтижелері

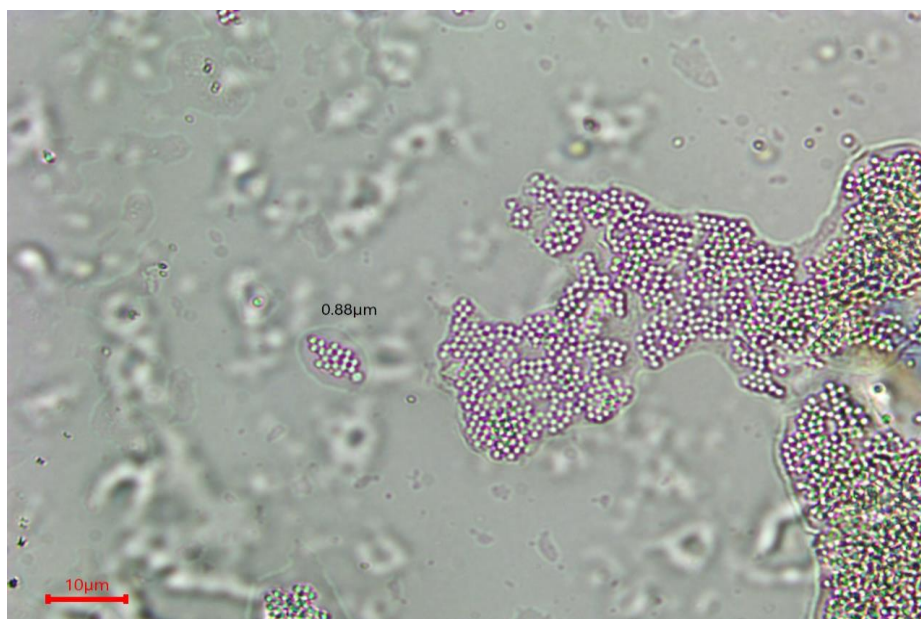


21 сурет - Микроскоп астындағы микропластиктің бастапқы күйі.

Берілген суретте полистирол негізіндегі микропластик бөлшектерінің Фентон процесіне дейінгі бастапқы морфологиясы көрсетілген. Зерттеу оптикалық микроскопия әдісі арқылы жүргізілген, масштаб сызығы 10 мкм.

Оптикалық микроскопиялық талдау нәтижесінде микропластик бөлшектерінің өлшемі шамамен 0,99 мкм–1,04 мкм аралығында екені анықталды. Бөлшектердің пішіні біршама дұрыс сфера тәрізді, беткі морфологиясы біркелкі, бірігу(агломерация) немесе ыдырау (фрагментация) белгілері байқалмайды.

Бұл нәтижелер полистерен микропластиктің бастапқы жағдайында тұрақты құрылымға ие екенін және деградацияға дейін бөлшектердің өлшемі микроөлшер деңгейінде екенін дәлелдейді. Алдағы өңдеу барысында бөлшек өлшемдерінің өзгеруін (кішіреюін немесе ыдырауын) бағалау үшін бұл мәлімет бастапқы бақылау ретінде қолданылды.



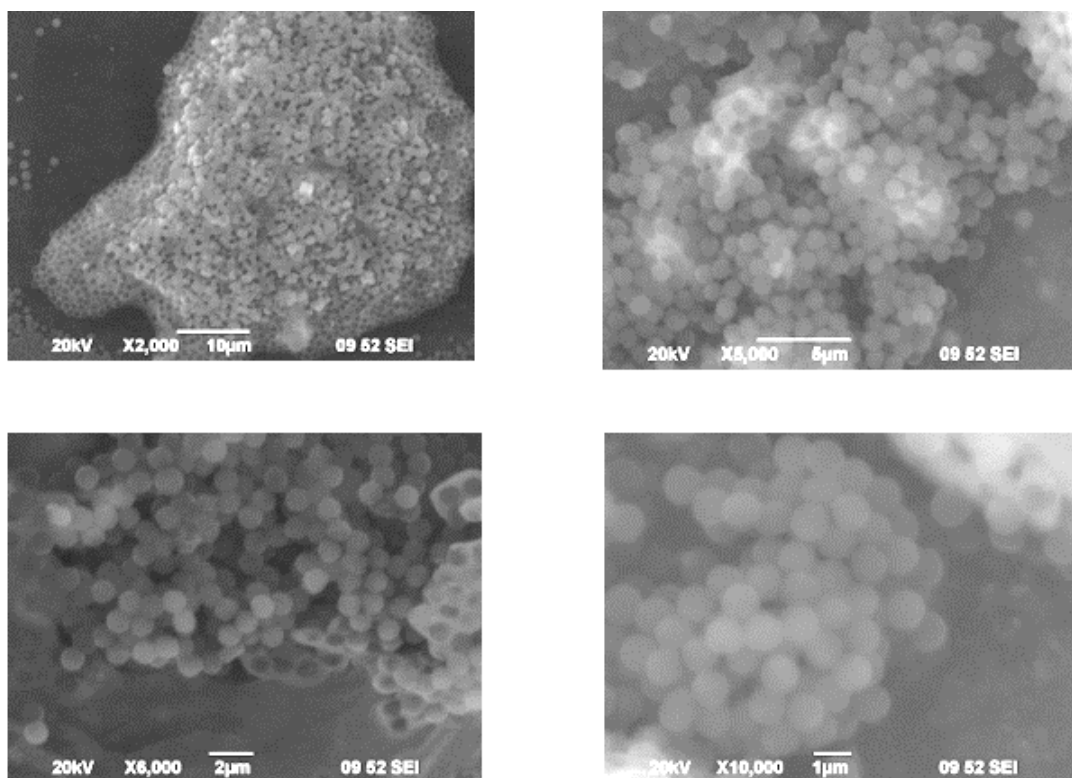
22 сурет - Микропластик бөлшектері Фентон процесінен кейін (масштаб: 10 мкм).

Суретте полистирол негізіндегі микропластик бөлшектерінің Фентон процесінен кейінгі морфологиясы көрсетілген. Зерттеу оптикалық микроскопия әдісі арқылы жүргізілді, масштаб сызығы 10 мкм.

Өңдеу нәтижесінде бөлшектердің құрылымында айтарлықтай өзгерістер байқалады. Жеке бөлшектердің диаметрі шамамен 0,88 мкм деңгейінде анықталды. Бұл бөлшектердің бастапқы өлшемі (1 мкм) мен салыстырғанда айтарлықтай кішірейгенін көрсетеді, яғни деградация үдерісі сәтті жүзеге асқанын дәлелдейді. Сондай-ақ, суретте бөлшектердің кейбірінің ұсақ фрагменттерге ыдырағаны және олардың қайта бірігуі нәтижесінде агрегацияланған құрылымдардың пайда болғаны байқалады. Бұл құбылыс полимер тізбектерінің үзілуінен кейін бөлшектердің тұрақсыздығын көрсетеді.

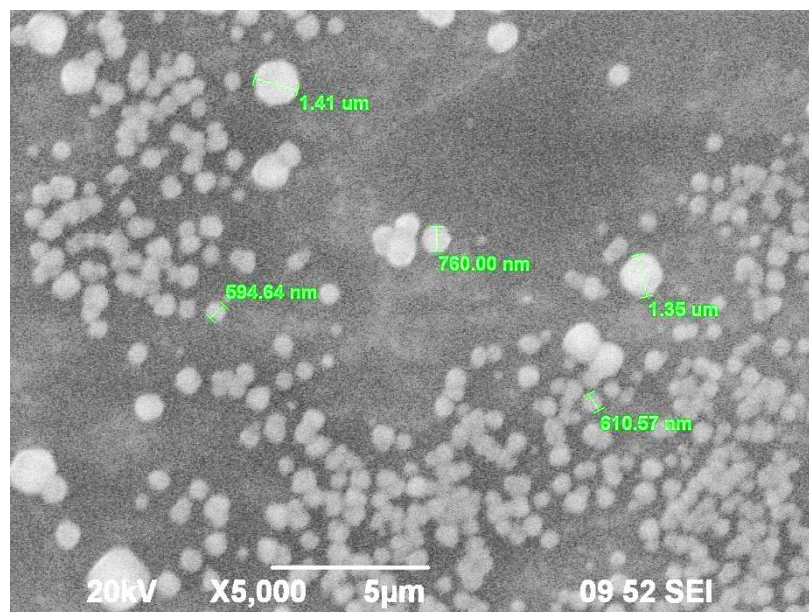
Осылайша, алынған нәтижелер Фентон процесінің микропластик деградациясында жақсы тиімділік көрсеткенін, бөлшектердің өлшемдерінің азайғанын және беткі морфологиясының өзгергенін дәлелдейді.

3.2 Сканирующі электронды микроскоп (СЭМ) нәтижелері

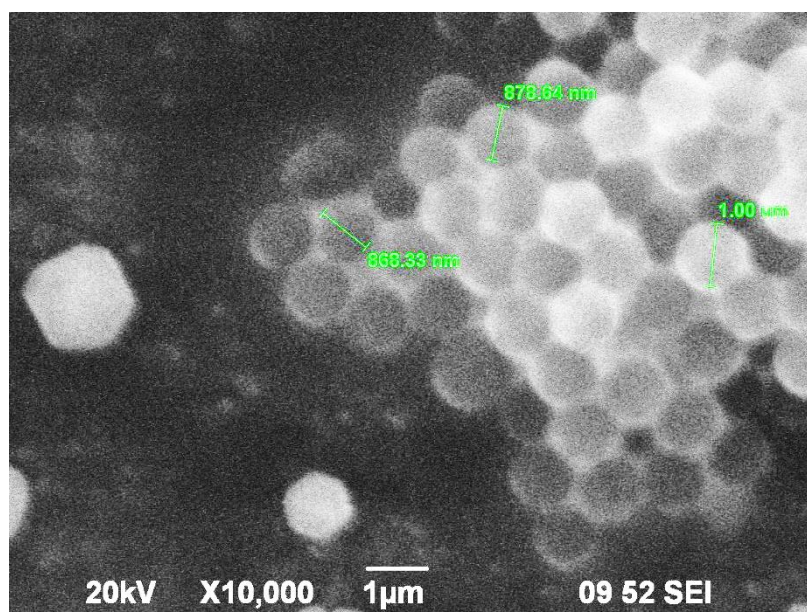


23 сурет - Микропластик бетінің СЭМ кескіні, $\times 2000$ – $\times 10\,000$ ұлғайтулар, үдеткіш кернеу 20 кВ.

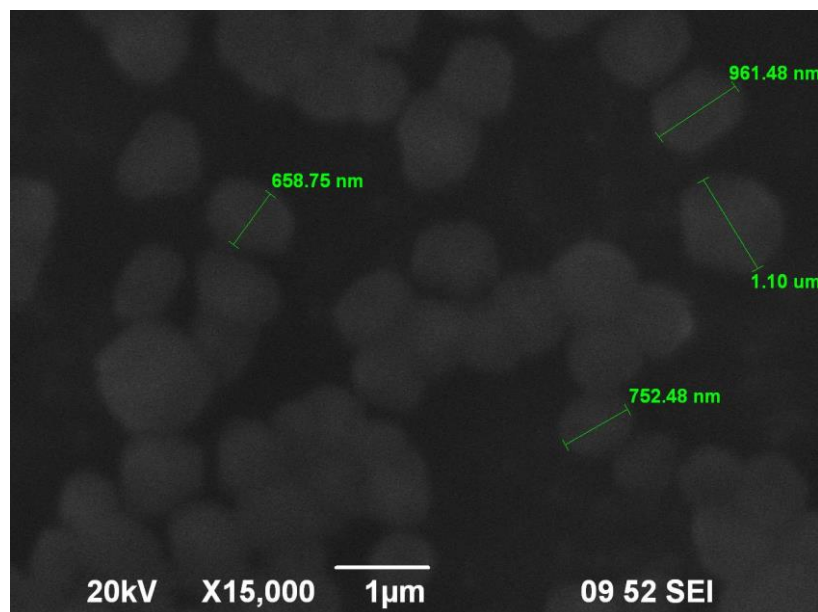
Суретте микропластик бөлшектерінің беткі морфологиясы сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) әдісі арқылы бейнеленген. Өртүрлі ұлғайтуларда ($\times 2000$, $\times 5000$, $\times 6000$, $\times 10\,000$) алынған кескіндерде бөлшектердің агломерацияланған күйі, сфераға ұқсас пішіні және бетінің кедір-бұдырлы құрылымы көрінеді. Бұл ерекшеліктер Фентон процесі нәтижесінде полимер тізбектерінің бұзылуы мен микропластиктің деградациясы жүргенін дәлелдейді. Бөлшектердің бірігуі және морфологиялық өзгерістері өңдеу процесінің тиімділігін көрсетеді.



24 сурет - Фентон процесінен кейінгі микропластик бөлшектерінің СЭМ кескіні, $\times 5000$ ұлғайтумен, бөлшек өлшемдері 594,64 нм–1,41 мкм аралығында.



25 сурет - Полистирол негізіндегі микробөлшектердің СЭМ бейнесі, өлшемі $\sim 870\text{--}880$ нм, үлкейту $\times 10\,000$.



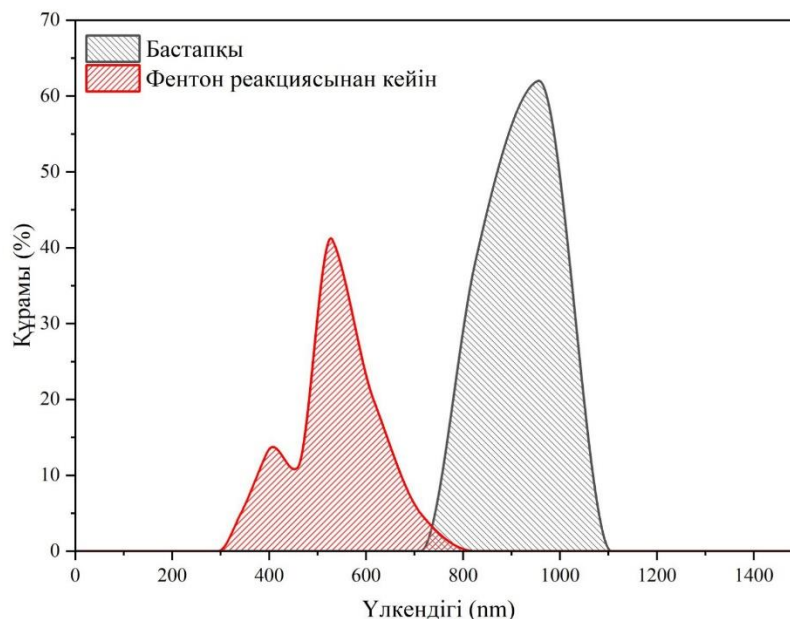
26 сурет – Фентон процесінен кейінгі микропластик бөлшектерінің СЭМ кескіні, $\times 15\,000$ ұлғайтумен, бөлшектердің өлшемі 658,75 нм–1,10 мкм аралығында.

Эксперимент барысында микропластикті (полистирол) ыдырату процесінің тиімділігін бағалау үшін Фентон әдісі қолданылды және үлгілердің морфологиясын сипаттау мақсатында сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) жүргізілді. Бастапқы кезеңде микропластик бөлшектерінің орташа өлшемі шамамен 1 мкм (1 микрометр) болды.

Фентон процесінен кейін алынған СЭМ кескіндерінде микропластик бөлшектерінің өлшемдерінің айтарлықтай азайғаны байқалды. Ең кіші анықталған бөлшек өлшемі 594,64 нм-ді құрады. Бұл нәтижелер полимер тізбектерінің гидроксил радикалдарының әсерінен бұзылуы есебінен микропластик бөлшектерінің ішінара деградацияға ұшырағанын көрсетеді. Бөлшек өлшемінің бастапқы мәнімен салыстырғанда шамамен екі есе кішіреюі деградация процесінің тиімді жүргізілгенін дәлелдейді. Сонымен қатар, СЭМ кескіндерінде 1,41 мкм-ге дейінгі ірі бөлшектердің де болуы байқалды, бұл ұсақ бөлшектердің өзара бірігуі (агломерация) нәтижесінде пайда болғанын көрсетеді.

Жалпы, алынған СЭМ нәтижелері Фентон процесінің полистирол микропластикін ыдыратудағы тиімділігін көрсетіп, бөлшектердің морфологиялық сипаттамаларының өзгергенін дәлелдейді.

3.3 ДЖШ (DLS) әдісі арқылы бөлшектердің өлшемдік таралуын анықтау нәтижелері



27 сурет - Полистереннің өлшемі бойынша таралуы: бастапқы күйі мен Фентон реакциясынан кейінгі жағдайы.

Бұл график микропластиктің (полистирол) өлшемі бойынша таралуын сипаттайды және динамикалық жарық шашырауы (ДЖШ) әдісімен алынған. Көлденең осьте бөлшектердің өлшемі нанометрмен (нм), ал тік осьте олардың құрамындағы пайыздық мөлшері (%) көрсетілген. Сұр штрихталған қисық – бастапқы үлгідегі бөлшектердің таралуын, ал қызыл штрихталған қисық – Фентон реакциясынан кейінгі бөлшектердің таралуын білдіреді. Бастапқы үлгідегі бөлшектердің басым бөлігі 800–1100 нм аралығында шоғырланған болса, Фентон реакциясынан кейін бұл диапазон 350–750 нм аралығына дейін қысқарған. Бұл микропластиктің құрылымында айтарлықтай фрагментация (ұсақ бөлшектерге ыдырау) жүргенін дәлелдейді. Демек, Фентон процесі полистирол микропластиктерінің өлшемін едәуір кішірейтіп, олардың экологиялық қауіпсіздігін төмендетуге ықпал еткен.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста полистерен негізіндегі микропластик бөлшектерін Фентон процесі арқылы деградациялау мүмкіндігі эксперименттік түрде зерттелді. Микропластиктерді қоршаған ортадан толықтай жою немесе олардың тұрақтылығын төмендету бүгінгі таңда аса өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып отыр, себебі бұл бөлшектер табиғи жағдайда өте баяу ыдырайды және тірі ағзаларға елеулі қауіп төндіреді. Жүргізілген зерттеудің мақсаты – микропластиктің морфологиялық құрылымына әсер ету арқылы оның деградациясын іске асыру және процестің тиімділігін микроскопиялық әдістермен растау. Тәжірибе барысында $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ және H_2O_2 реагенттерін қолданып, рН 2–3 деңгейінде және 35°C температурада Фентон процесі жүргізілді. Полистирол микропластик сұйық фазада енгізіліп, реакция барысында жүйелі араластыру қамтамасыз етілді.

Зерттеулер нәтижесінде алынған оптикалық микроскопия және сканирлеуші электрондық микроскопия (СЭМ) мәліметтері микропластик бөлшектерінің құрылымында айтарлықтай морфологиялық өзгерістер болғанын көрсетті. Бастапқы үлгілерде бөлшектердің өлшемі ірі, пішіні тұтас және беткі қабаты тегіс болса, өңдеуден кейін олардың фрагментациясы, бетінде жарықшақтардың, эрозия белгілерінің пайда болуы анықталды. Бұл өзгерістер Фентон процесінің әсерінен полистирол тізбектерінің бұзылуы мен деградация механизмінің іске асқанын растайды.

Сонымен қатар, микропластик бөлшектерінің өлшемі бойынша таралуын сипаттайтын динамикалық жарық шашырауы (ДЖШ) әдісі арқылы алынған мәліметтер де процестің тиімділігін растады. График нәтижелері бойынша бастапқы үлгідегі бөлшектердің негізгі бөлігі 800–1100 нм диапазонында шоғырланған болса, Фентон реакциясынан кейін бұл аралық 350–750 нм диапазонына дейін қысқарған. Бұл микропластиктің құрылымында айтарлықтай фрагментация, яғни ұсақ бөлшектерге ыдырау процесі жүргенін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Фентон процесі полистирол негізіндегі микропластиктердің құрылымын бұзып, олардың экологиялық зияндылығын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл әдістің практикалық маңыздылығы микропластиктермен ластанған тұрмыстық және өндірістік ағын суларды тазарту жүйелеріне енгізу әлеуетімен түсіндіріледі. Фентон реакциясының артықшылығы – реагенттердің кең қолжетімділігі және процестің өндірістік деңгейде жүзеге асырылу мүмкіндігі.

Ғылыми тұрғыдан алғанда, бұл зерттеу микропластиктердің деградация механизмдерін тереңірек зерделеуге негіз болады және қоршаған ортаға қауіпсіз жаңа технологияларды әзірлеуге ықпал етеді. Жаһандық деңгейде мұндай әдістер пластикалық ластанудың алдын алу және микропластиктердің қоршаған ортада жиналуын азайту бағытындағы тиімді шешімдердің бірі ретінде қарастырылады.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

МП – микропластик
ПЭ – полиэтилен
ПП – полипропилен
ПЕТ– полиэтилентерефталат
ПВХ – поливинилхлорид
ПА – полиамид
ПЭС – полиэстр
ПУ – полиуретан
АС – акрил
ПММА– полиметилметакрилат
ПС – полистирол
СЭМ – сканерлеуші электронды микроскопия
ДЖШ – динамикалық жарық шашырауы
ЖТП – жетілдірілген тотығу процестері

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Қазақстан задыхается от пластика: не менее 100 тыс. тонн отходов в год уничтожают экологию и здоровье // Inbusiness.kz. – 2024. – 24 января.
2. Кусаинова И. Қазақстан задыхается от пластика: не менее 100 тыс. тонн отходов в год уничтожают природу и здоровье // Inbusiness.kz. – 2024. – 3 июля. – URL: <https://inbusiness.kz/ru/news/kazakhstan-zadyhaetsya-ot-plastika-ne-menee-100-tys-tonn-othodov-v-god-unichtozhayut-ekologiyu-i-zdorove>
3. Баймуқанов М.Т., Баймуқанова Ж.М. О пластиковом загрязнении и потенциальном его воздействии на биоразнообразие Каспийского моря // Новости науки Республики Казахстан. – 2018. – №2. – URL: <https://nv.nauka.kz/ekologiya/o-plastikovom-zagryaznenii-i-potencialnom-ego-vozdjestvii-na-bioraznoobrazie-kaspijskogo-morya.php>
4. Пластиковый мусор и микропластик в Мировом океане. Глобальное предостережение и исследование, призыв к действиям и руководство по изменению направления политики. – Найроби: ЮНЕП, 2016. – 189 с.
5. Poole M.A., O'Farrell P.N. The assumptions of the linear regression model // Trans.
6. Bexeitova K., Baimenov A., Varol E.A. и др. Microplastics in freshwater systems: A review of classification, sources, and environmental impacts // Chemical Engineering Journal Advances. – 2024. – Vol. 20. – Article 100649. – DOI: <https://doi.org/10.2307/621706>
7. Как работает завод по переработке пластика // Kapital.kz. – 2021. – 26 апреля.
8. Plastic pollution by country // World Population Review. – 2024. – URL: <https://worldpopulationreview.com/country/rankings/plastic-pollution-by-country> (дата обращения: 20.05.2025)
9. Kapoor D., Singh N., Singh J. и др. Impact of plastic pollution on the environmental management of urban ecosystems // Journal of Environmental Management. – 2022. – Vol. 319. – Article 114686. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114686>
10. Kibria M.G., Masuk N.I., Safayet R. и др. Plastic waste: challenges and opportunities to mitigate pollution and effective management // International Journal of Environmental Research. – 2023. – Vol. 17.
11. Sedlak D. Three lessons for the microplastics voyage // Environmental Science & Technology. – 2017. – Vol. 51. – P. 7747–7748. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03340>
12. Hartmann N.B., Hüffer T., Thompson R.C. и др. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris // Environmental Science & Technology. – 2019. – Vol. 53. – P. 1039–1047. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
13. Hahladakis J.N., Velis C.A., Weber R. и др. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact //

Journal of Hazardous Materials. – 2018. – Vol. 344. – P. 179–199. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>

14. Horodytska O., Cabanes A., Fullana A. Plastic waste management: current status and weaknesses // *Plastics in the Aquatic Environment – Part I.* – SpringerLink, 2019. – P. 289–306.

15. Global production of plastics since 1950 // Statista. – 2024. – Октябрь. – URL: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> (дата обращения: 20.05.2025)

16. Advancements in Fenton process for wastewater treatment // Waterman Australia. – [б.г.]. – URL: <https://watermanaustralia.com/advancements-in-fenton-process-for-wastewater-treatment/>

17. Bule Možar K., Miloloža M., Martinjak V. и др. Potential of advanced oxidation as pretreatment for microplastics biodegradation // *Separations.* – 2023. – Vol. 10, №5. – Article 132. – DOI: <https://doi.org/10.3390/separations10050132>

18. Poerio T., Piacentini E., Mazzei R. Membrane processes for microplastic removal // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24, №23. – Article 4148. – DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24.22>

19. Lupu G.-I., Orbeci C., Bobirică L. и др. Key principles of advanced oxidation processes: A systematic analysis of current and future perspectives // *Catalysts.* – 2023. – Vol. 13, №9. – Article 1280. – DOI: <https://doi.org/10.3390/catal13091280>

20. Kastanek F., Spacilova M., Krystynik P. и др. Fenton reaction – unique but still mysterious // *Processes.* – 2023. – Vol. 11, №2. – Article 432. – DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11020432>

21. Deng Y., Zhao R. Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment // *Current Pollution Reports.* – 2015. – Vol. 1. – P. 167–176. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>

22. Hamd W., Daher E.A., Tofa T.S., Dutta J. Recent advances in photocatalytic removal of microplastics // *Frontiers in Marine Science.* – 2022. – Vol. 9. – Article 885614. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.885614>

23. Mohammed Bello M., Abdul Raman A.A., Asghar A. A review on approaches for addressing the limitations of Fenton oxidation // *Process Safety and Environmental Protection.* – 2019. – Vol. 126. – P. 119–140. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.008>

ҚОСЫМША

А қосымшасы Сертификат





