

АЙМАҚТЫҚ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ ШЕШУДЕ ҚАУІПСІЗ ХИМИЯНЫ ҚОЛДАНУ ӘДІСТЕРІ

Дамежан АДІЛХАНОВНА*
Динара ЖАҚАТОВА***

Түйіндеме: Қазіргі уақытта климаттың өзгеруі мен қоршаған ортаның ластануы жаһандық мәселеге айналды. Осыған байланысты экологиялық қауіпсіз химия зиянды қалдықтарды азайтуда маңызды рөл атқарады. Бұл мақалада жасыл химияның негізгі қағидалары, оның ішінде қалдықтарды азайту, жаңартылатын ресурстарды пайдалану және уыттылығы төмен қосылыстарды жасау әдістері қарастырылады. Сонымен қатар, ластаушы заттардың шығарындыларын төмендетуге көмектесетін заманауи инновациялық технологиялар, соның ішінде жаңа буын катализаторлары, биологиялық ыдырайтын материалдар және энергия тиімді процестер талданады. Әсіресе, өнеркәсіптік химиялық процестерді жаңғырту арқылы экологиялық жүктемені азайту мәселесіне ерекше көңіл бөлінеді.

Түйінді сөздер: жасыл химия, экология, тұрақты даму, жаңартылатын ресурстар, катализаторлар, биологиялық ыдырайтын материалдар.

Methods of Using Safe Chemistry in Solving Regional Environmental Problems

Abstract: Nowadays, climate change and environmental pollution have become global issues. In this regard, environmentally friendly chemistry plays an important role in reducing harmful waste. This article reviews the basic principles of green chemistry, including waste reduction, the use of renewable resources, and methods for the production of low-toxicity compounds. In addition, modern innovative technologies that help reduce pollutant emissions are analyzed, including new generation catalysts, biodegradable materials, and energy-efficient processes. Particular attention is paid to the issue of reducing the environmental burden through the modernization of industrial chemical processes.

Key Words: green chemistry, ecology, sustainable development, renewable resources, catalysts, biodegradable materials.

Кіріспе

Қазіргі заманғы химия өнеркәсібі қоршаған ортаға айтарлықтай әсер етеді. Өндіріс нәтижесінде улы заттар, парниктік газдар және басқа да ластаушы қалдықтар бөлінеді (Тюрин, 2015). Бұл мәселелерді шешу үшін экологиялық қауіпсіз химия немесе жасыл химия тұжырымдамасы пайда болды. Оның мақсаты – табиғатқа және адам денсаулығына зияны аз баламалы химиялық процестерді әзірлеу (Anastas & Warner, 1998).

Жасыл химия өнеркәсіптік химиялық реакцияларды экологиялық таза етіп жасауға бағытталған. Оның негізгі міндеті – зиянды қалдықтарды азайту, жаңартылатын шикізатты пайдалану және энергия тиімділігі жоғары әдістерді қолдану (Sheldon, 2017; Zhang, Cue, & Koenig, 2020).

Жаңадан қалыптасқан жағдай табиғи ресурстарды пайдалану, экономикалық өсу және қоршаған ортаны қорғау арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін шешімді іздеуді талап етті (European Environment Agency, 2021). Рефлексия арқылы соңғы екі онжылдықта қоршаған ортаны қорғау талаптары туралы хабардарлық артты, сондықтан жасыл және өміршең деп аталатын технологияларға көп көңіл бөлінді (UNEP, 2023). Жаңа заңдар мен ережелер экожүйені зиянды химиялық заттардан қорғауға бағытталған, ал "жасыл химия" процестері арқылы химиялық қауымдастық адам денсаулығы мен қоршаған орта үшін қауіпсіз жаңа қосылыстар мен процестерді дамытуға бағытталған (Фадеев & Фадеева, 2011).

Жасыл немесе тұрақты химия – зиянды материалдарды пайдалану мен өндіруді азайтатын немесе жоққа шығаратын химиялық өнімдер мен процестерді өндіруге қатысты термин (Голубина & Локтева, б.ж.). Экологиялық тәсілдері бар химияның жаңа

* PhD., аға оқытушы, Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Жаратылыстану институты, Алматы, Қазақстан

**** Ізденуші Қазақ Ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Жаратылыстану институты, Алматы, Қазақстан

саласы ретінде ол химиялық процестерде зиянды заттарды пайдалануды азайтуды немесе жоюды, сондай-ақ зиянды және улы өнімдерден бас тартуды қамтиды (Тюрин, 2015).

"Жасыл" деп аталу үшін әр реакцияда үш "жасыл" компонент болуы керек: реагент/катализатор, еріткіш және энергияны тұтыну (Anastas & Warner, 1998). Сонымен қатар, жасыл химия қалдықтарды жоюдың ең жақсы түріне және қолданғаннан кейін химиялық өнімдердің ыдырау процесін жобалауға мүдделі, барлығы ластанудың алдын алу және тұрақты прогресс шараларына сәйкес (Sheldon, 2017).

"Жасыл химия" тұжырымдамасы соншалықты үлкен әсер етті, өйткені ол оқшауланған зерттеу зертханасынан асып түседі және өнеркәсіпке, қоршаған ортаға, білімге және қоғамға әсер етеді (Қазақстан Республикасы Экология, геология және табиғи ресурстар министрлігі, 2023). Жасыл химия саласы химиктердің келесі ұрпақ өнімдері мен процестерін адам денсаулығына да, қоршаған ортаға да пайдалы етіп қалай синтездей алатынын көрсетті (Zhang et al., 2020). Сонымен қатар, соңғы екі онжылдықта жасыл химияны оқыту бастамасы, мемлекеттік қаржыландыру және жасыл химия ғылыми орталықтарын (CGRC) құру бағытында ғылыми ынта-жігер артты (European Environment Agency, 2021).

Жасыл химия Пол Анастас пен Джон Уорнер тұжырымдаған 12 негізгі қағидаға негізделген (Anastas & Warner, 1998). Олардың ішіндегі маңыздылары:

1. Қалдықтардың пайда болуын болдырмау – зиянды жанама өнімдер мен қалдықтарды азайту.
2. Атомдық үнемділік – бастапқы шикізатты барынша тиімді пайдалану.
3. Уытты емес химиялық процестер – адам денсаулығы мен табиғатқа қауіпсіз әдістерді қолдану.
4. Жаңартылатын ресурстарды пайдалану – табиғи және экологиялық таза шикізатты қолдану.
5. Каталитикалық процестерді енгізу – химиялық реакцияларды жылдамдату арқылы энергия шығынын азайту.
6. Өнімдердің биологиялық ыдырауы – пластик және басқа материалдардың қоршаған ортаға зиян келтірмеуін қамтамасыз ету (Sheldon, 2017).

Бұл қағидалар экологиялық зиянды төмендететін және ластаушы шығарындыларды азайтатын химиялық технологияларды дамытуға ықпал етеді (Zhang et al., 2020).

Ластаушы шығарындыларды азайтудың заманауи технологиялары

1. Жаңа буын катализаторлары. Катализаторлар – химиялық реакцияларды жылдамдататын және олардың тиімділігін арттыратын заттар. Заманауи катализаторлар келесідей артықшылықтарға ие:

- Реакцияны төменгі температура мен қысымда жүргізу арқылы энергияны аз тұтыну;
- Жанама өнімдерді азайту, яғни зиянды заттардың түзілуін төмендету;
- Қауіпсіз еріткіштер мен реагенттерді қолдану (Kerton & Marriott, 2013; Sheldon, 2017).

Нанокатализаторлар – заманауи инновациялардың бірі. Олар жоғары тиімділікке ие және экологиялық таза өндіріс жасауға мүмкіндік береді (Sheldon, 2017).

2. Биологиялық ыдырайтын материалдар. Пластикалық қалдықтар экологиялық ластанудың негізгі себептерінің бірі. Жасыл химия бұл мәселені биологиялық ыдырайтын материалдар арқылы шешуге тырысады. Мұндай материалдарға крахмал, целлюлоза, полилактид (PLA) негізінде жасалған пластиктер жатады. Олар табиғи

ортада оңай ыдырайды және қоршаған ортаға зиян келтірмейді (Ragauskas, Williams, & Davison, 2006).

3. Альтернативті еріткіштер. Көптеген химиялық өндірістерде улы еріткіштер қолданылады. Олар адам денсаулығы мен экологияға зиянды. Жасыл химия ұсынатын баламалы еріткіштер:

- Суперкритикалық сұйықтықтар;
- Сулы еріткіштер (улы емес және қауіпсіз);
- Иондық сұйықтықтар, олар буланбайды және қоршаған ортаға зиян келтірмейді (Kerton & Marriott, 2013).

Бұл еріткіштерді қолдану арқылы өнеркәсіптік ластаушы заттардың ауаға таралуы айтарлықтай төмендейді. 4. Энергия тиімді процестер. Заманауи жасыл химия технологиялары энергияны үнемдеуге бағытталған. Фотокатализ – химиялық реакцияларды күн сәулесінің көмегімен жүргізуге мүмкіндік беретін әдіс. Бұл жаңартылатын энергия көздерін тиімді пайдалануға жол ашады және парниктік газдар шығарындыларын азайтады (European Environment Agency, 2021; UNEP, 2023).

Зерттеу бөлімі

Экологиялық қауіпсіз химияны бағалаудың SWOT талдауы

Мықты жақтары (Strengths)

1. Экологиялық тұрақтылық – Экологиялық қауіпсіз химия қоршаған ортаға зиянды заттардың шығарылуын төмендетеді.

2. Ресурстарды тиімді пайдалану – Дәстүрлі химия көптеген табиғи ресурстарды тиімсіз пайдаланады, ал жасыл химия қайта өңделетін және қалпына келетін шикізаттарды қолдануға негізделген.

3. Денсаулыққа қауіпсіздік – Кәдімгі химиялық өндіріс көптеген уытты заттармен жұмыс істейді, ал жасыл химия адам денсаулығына қауіпсіз материалдарды әзірлеуге бағытталған. Бисфенол-А-сыз пластиктерді шығару тағам қаптамаларында зиянды химикаттардың болмауын қамтамасыз етеді.

4. Инновациялық әлеуеті жоғары – Экологиялық қауіпсіз химияда катализаторлар, нанотехнологиялар, ферментативті процестер сияқты жаңа технологиялар белсенді қолданылады.

5. Халықаралық қолдау – БҰҰ, ЕО және көптеген мемлекеттер экологиялық қауіпсіз өндірістерді қолдауға бағытталған заңнамалар мен субсидиялар енгізуде. Мысалы, ЕО-ның "Green Deal" бастамасы 2050 жылға дейін көміртегі бейтараптығына жетуді көздейді.

6. Қалдықтарды азайту – Дәстүрлі химия өнеркәсібі көп мөлшерде қалдық шығарады, ал жасыл химия қалдықсыз немесе аз қалдықты өндірістерге бағытталған.

7. Энергияны үнемдеу – Жасыл химияның көптеген процестері төменгі температура мен қысымда жүзеге асады, бұл энергия шығынын азайтады. Фотокатализ негізіндегі су тазарту әдістері арзан әрі экологиялық таза шешім болып табылады.

8. Биоүйлесімді материалдар жасау – Дәстүрлі пластиктер адам ағзасына қауіп төндіруі мүмкін, ал жасыл химия биоыдырайтын және денсаулыққа қауіпсіз полимерлерді ұсынады. Мысалы, PLA (полилактид) биопластигі тағам қаптамаларында кеңінен қолданыла бастады.

9. Ауыл шаруашылығына пайдасы – Экологиялық қауіпсіз химия органикалық тыңайтқыштар мен биопестицидтерді әзірлеуге көмектеседі. Neem oil (ним майы) негізіндегі табиғи инсектицидтер химиялық пестицидтерді алмастыра алады.

10. Климаттың өзгеруімен күрес – Көмірқышқыл газын азайтуға бағытталған жасыл химия технологиялары көміртек ізін төмендетуге мүмкіндік береді.

Әлсіз жақтары (Weaknesses)

1. Жоғары бастапқы шығындар – Жасыл химия технологияларын енгізу дәстүрлі химиямен салыстырғанда қымбатқа түседі. Көміртексіз сутегі өндірісі (электролиз арқылы) әзірге қымбат, бірақ болашақта арзандайды.

2. Өндіріс инфрақұрылымына бейімделу қиындығы – Көптеген химиялық зауыттар дәстүрлі шикізат пен процестерге негізделген, сондықтан оларды қайта құру қымбатқа түседі.

3. Шикізатқа тәуелділік – Кейбір жасыл химия өнімдері арнайы шикізат көздерін қажет етеді, ал олар тұрақты жеткізіліммен қамтамасыз етілмеуі мүмкін. Мысалы, целлюлозадан биоотын алу технологиясы коммерциялық деңгейде дамымаған.

4. Ғылыми зерттеулердің ұзақтылығы – Экологиялық қауіпсіз химия саласында жаңа материалдар мен әдістерді зерттеу көп уақыт алады.

5. Дәстүрлі химия өнеркәсібінің қарсылығы – Ірі мұнай-химия компаниялары жасыл химияға инвестиция салудан қашқақтауы мүмкін, себебі бұл олардың табысына әсер етеді.

6. Қазіргі нарыққа бейімделу қиындықтары – Жасыл химия өнімдерінің бағасы жоғары болғандықтан, олар барлық тұтынушылар үшін қолжетімді емес.

7. Тиімділіктің дәстүрлі химиямен бәсекеге түсе алмауы – Кейбір жасыл химия технологиялары әзірге өнімділігі мен экономикалық тиімділігі бойынша дәстүрлі әдістерден төмен.

8. Технологиялық кедергілер – Биохимиялық процестер әлі де өндірістік масштабта тұрақты емес, бұл олардың кең таралуын тежейді.

9. Халықаралық стандарттардың үйлесімсіздігі – Өртүрлі елдердегі экологиялық заңдар бір-бірінен айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін, бұл жасыл химия өнімдерінің жаһандық нарыққа шығуын қиындатады.

10. Инвесторлар тарапынан сенімсіздік – Көптеген инвесторлар дәстүрлі химияға қарағанда жасыл технологияларға қаражат құюға сақтықпен қарайды

Мүмкіндіктер (Opportunities)

1. Жасыл технологияларды дамытуға инвестициялардың артуы – Көптеген үкіметтер мен жеке компаниялар экологиялық тұрақты химияға қаржы бөлуде. Мысалы, Еуропалық Одақтың "Green Deal" бағдарламасы жасыл инновацияларды дамыту үшін миллиардтаған еуро бөлуді жоспарлап отыр.

2. Тұтынушылардың экологиялық таза өнімдерге сұранысының өсуі – Тұтынушылар биобұйымдар, пластиктер, табиғи косметика, органикалық тыңайтқыштар сияқты экологиялық өнімдерге көбірек қызығушылық танытуда. Мысалы, Unilever компаниясы экологиялық өнімдер шығаруға бет бұрды.

3. Экологиялық заңнамалардың күшеюі – Үкіметтер химиялық ластануды азайту үшін қатаң стандарттар мен талаптарды енгізуде. ЕО-ның REACH регламенті қауіпті химиялық заттарды шектеуді күшейтті.

4. Климаттың өзгеруімен күрес бағдарламалары – Көптеген елдер көміртегі бейтараптығына жету мақсатында жасыл химия жобаларын қолдауда. Мысалы, АҚШ-та "Inflation Reduction Act" бағдарламасы жасыл өндірістерге инвестиция салуды қарастырады.

5. Жаңа биотехнологиялық процестердің дамуы – Биотехнология қалдықсыз өндіріс жасауға және экологиялық таза химиялық өнімдер әзірлеуге мүмкіндік береді. Мысалы, ферментативті катализаторлар көмегімен дәрі-дәрмек өндіру.

6. Альтернативті шикізат көздерін пайдалану – Мұнай-химия шикізатына балама ретінде биомасса, ауыл шаруашылығы қалдықтары және көмірқышқыл газы сияқты көздерді пайдалану мүмкіндігі бар. Мысалы, көмірқышқыл газынан биоотын өндірісі.

7. Қайта өңдеу технологияларының дамуы – Қайта өңделген пластиктер мен басқа материалдарды пайдалану қалдықтарды азайтып, жаңа өнімдердің өндірісін экологиялық тұрғыдан тиімді етеді.

8. Жасыл энергетикамен интеграция – Күн, жел және гидроэнергетика экологиялық таза химия өндірісіне қуат көзі ретінде пайдаланылуы мүмкін.

9. Жасыл химия өнімдерінің халықаралық нарықта танылуы – Көптеген ірі корпорациялар экологиялық стандарттарға сай келетін өнімдерге басымдық бере бастады. Apple компаниясы экологиялық таза материалдарды қолдануға көшуде.

10. Қоғамдық және мемлекеттік қолдаудың артуы – Жасыл химияға қатысты ақпараттандыру және білім беру бағдарламалары көбейіп келеді, бұл саладағы зерттеулерге сұранысты арттырады.

Қауіп-қатерлер (Threats)

1. Дәстүрлі химия өнеркәсібінің қарсылығы – Ірі мұнай-химия корпорациялары жасыл химия технологияларын енгізуге асықпайды, өйткені бұл олардың табысын азайтуы мүмкін.

2. Жоғары өндірістік шығындар – Жасыл химия технологияларының өндірістік ауқымда енгізілуі қымбат, сондықтан көптеген компаниялар арзан, бірақ экологиялық зиянды әдістерді қолдануды жалғастыруда.

3. Ғылыми зерттеулердің ұзақтылығы – Жасыл химия саласындағы жаңалықтар көп жылдық зерттеулерді қажет етеді, ал бұл ұзақ мерзімді инвестицияларды талап етеді.

4. Тұтынушылардың дәстүрлі өнімдерге бейімділігі – Кейбір тұтынушылар экологиялық өнімдерге көшуге дайын емес немесе олардың тиімділігіне сенімсіздік танытады.

5. Халықаралық стандарттардың бірізді болмауы – Әр елдегі экологиялық стандарттар әртүрлі, бұл жасыл химия өнімдерінің жаһандық нарыққа шығуын қиындатады.

6. Технологиялық кедергілер – Кейбір экологиялық химиялық процестер әлі де өндірістік масштабта тұрақты емес.

7. Шикізаттың тұрақты жеткізілу мәселесі – Биохимиялық шикізаттың өндірісі маусымдық сипатқа ие болуы мүмкін, бұл өндіріс тұрақтылығына әсер етеді.

8. Экономикалық дағдарыстар – Қаржылық дағдарыстар кезінде экологиялық жобаларға бөлінетін инвестициялар азаюы мүмкін.

9. Бәсекелестіктің күшеюі – Дәстүрлі химия компаниялары жасыл химия өнімдеріне балама экологиялық шешімдер әзірлеуі мүмкін, бұл жасыл химияның нарықтағы үлесін азайтады.

10. Жасыл химия өнімдерінің бағасы жоғары – Көптеген тұтынушылар үшін экологиялық таза өнімдер қымбат болып көрінеді, бұл олардың кең таралуына кедергі келтіруі мүмкін.

Экологиялық қауіпсіз химияны бағалаудың PEST (Political Factors, Economic Factors, Social Factors, Technological Factors) талдауы

Саяси факторлар (Political Factors)

1. Қоршаған ортаны қорғау саясаты – Көптеген елдер табиғи ресурстарды қорғау және ластануды азайту үшін экологиялық талаптарды күшейтіп жатыр. Мысалы, Еуропалық Одақ REACH (Registration, Evaluation, Authorisation, and Restriction of Chemicals) регламенті арқылы қауіпті химиялық заттарды реттейді.

2. Субсидиялар мен мемлекеттік қолдау – Бірқатар елдер жасыл химия технологияларын дамыту үшін қаржылық ынталандырула ұсынады. АҚШ-тағы Green Chemistry Challenge Awards бағдарламасы экологиялық қауіпсіз химия саласындағы үздік инновацияларды қолдайды.

3. Халықаралық келісімдер – Киото хаттамасы, Париж келісімі сияқты экологиялық келісімдер көміртегі ізін азайтуды және экологиялық технологияларды дамытуды талап етеді.

4. Салықтық жеңілдіктер – Экологиялық қауіпсіз өнімдерді шығаратын компаниялар салықтық жеңілдіктер ала алады. Мысалы, Германияда жаңартылатын шикізаттан өндірілген химиялық өнімдер үшін арнайы салықтық преференциялар қарастырылған.

5. Экологиялық заңнамалардың қатаюы – Дәстүрлі химия өнеркәсібі үшін қатаң экологиялық нормалар енгізіліп жатыр. Қытайда 2021 жылы енгізілген “Жасыл өндіріс стандарттары” дәстүрлі химиялық өндірістердің экологиялық талаптарын күшейтті.

6. Жасыл экономикаға өту стратегиялары – БҰҰ мен Дүниежүзілік банк тұрақты даму мақсаттарын (SDGs) жүзеге асыру аясында жасыл химияны қолдайды.

7. Жергілікті экологиялық бастамалар – Көптеген қалалар мен аймақтар жасыл химия өнімдерін сатып алуды мемлекеттік деңгейде қолдайды. Мысалы, АҚШ-тың Калифорния штаты биопластиктерді пайдалану жөніндегі заң қабылдады.

8. Қоршаған ортаны қорғау агенттіктерінің рөлі – Әлем бойынша экологиялық агенттіктер өндірістердің экологиялық әсерін бағалау критерийлерін күшейтуде. ЕРА (Environmental Protection Agency, АҚШ) жасыл химия стандарттарын енгізуді талап етеді.

9. Экологиялық стандарттардың жаһандануы – Көптеген халықаралық компаниялар өз өнімдерін экологиялық стандарттарға сәйкес бейімдеуге мәжбүр.

10. Дәстүрлі химия өндірісін шектеу – Кейбір елдерде зиянды химиялық өндірістерге шектеулер қойылып жатыр, бұл жасыл химияның дамуына мүмкіндік береді.

Экономикалық факторлар (Economic Factors)

1. Жасыл экономикаға көшу – Әлем елдері тұрақты даму стратегияларын жүзеге асырып, экологиялық өндірістерді дамытуға басымдық беруде.

2. Шикізат пен энергия бағасы – Мұнай бағасының құбылмалылығы биохимиялық шикізатқа деген сұранысты арттыруда. Мысалы, биопластик өндірісіне сұраныс мұнайға тәуелділікті төмендету мақсатында өсуде.

3. Ғылыми зерттеулерге инвестициялар – Көптеген елдер жасыл химияны дамыту үшін мемлекеттік және жеке инвестицияларды тартып жатыр. ЕО-ның Horizon 2020 бағдарламасы жасыл технологияларға миллиардтаған еуро қаржы бөлді.

4. Экологиялық өнімдерге сұраныстың артуы – Тұтынушылар экологиялық таза өнімдерді жиі таңдайды. Coca-Cola компаниясы PlantBottle технологиясын енгізіп, биопластик бөтелкелерін шығара бастады.

5. Экологиялық салықтардың енгізілуі – Көміртек шығарындыларын азайту мақсатында көптеген елдер экологиялық салықтарды енгізіп жатыр.

6. Дәстүрлі химиямен салыстырғанда жоғары өзіндік құн – Экологиялық өнімдердің бағасы әлі де дәстүрлі өнімдерден қымбатырақ, бірақ технологиялардың дамуына қарай арзандап келеді.

7. Қайта өңдеу саласының дамуы – Жасыл химияның дамуы екінші реттік шикізатты пайдалану мүмкіндігін арттырады.

8. Индустриядағы бәсекелестік – Ірі химиялық корпорациялар жасыл химияға бейімделіп, жаңа экологиялық өнімдер ұсынуда.

9. Экологиялық стартаптардың өсуі – Соңғы жылдары биотехнология, нанотехнология және экологиялық химия саласында жаңа стартаптар саны артты.

10. Жасыл қаржы құралдарының дамуы – Жасыл облигациялар мен инвестициялық қорлар экологиялық жобаларды қаржыландыруға бағытталуда.

Әлеуметтік факторлар (Social Factors)

1. Қоғамның экологиялық сана-сезімінің артуы – Тұтынушылар экологиялық жауапкершілікті жоғары бағалап, жасыл өнімдерді таңдауда.

2. Қоғамдық қысым – Экологиялық мәселелерге алаңдайтын ұйымдар жасыл химияны қолдауға ықпал етеді.

3. Денсаулыққа қауіпсіз өнімдерге сұраныстың өсуі – Тұтынушылар бисфенол-А-сыз пластик, табиғи косметика, экологиялық тұрмыстық химия өнімдерін жиі таңдайды.

4. Жасыл технологияларға білім беру – Университеттер мен ғылыми орталықтарда жасыл химия бағытында зерттеулер көбейіп жатыр.

5. Экологиялық брендтердің беделі – Экологиялық жауапкершілікті арттырған компаниялар көбірек тұтынушы тарта алады.

Технологиялық факторлар (Technological Factors)

1. Инновациялық химиялық процестердің дамуы – Катализаторлар, биотехнологиялар, наноматериалдар саласындағы жетістіктер жасыл химияға серпін береді.

2. Жаңартылатын энергия көздерін пайдалану – Күн, жел және биомасса негізіндегі энергия көздері экологиялық таза өндірісті қамтамасыз етеді.

3. Цифрлық технологиялардың ықпалы – Жасанды интеллект пен деректерді талдау химиялық процестерді оңтайландырады.

4. Жаңа материалдар мен альтернативті шикізат – Биополимерлер, экологиялық еріткіштер, синтетикалық жасушалар дамып келеді.

Жүргізілген SWOT және PEST талдаулары экологиялық қауіпсіз химияның қазіргі жағдайын, даму перспективаларын және оған әсер ететін сыртқы факторларды жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді.

SWOT талдауы көрсеткендей, жасыл химияның күшті жақтары оның қоршаған ортаға тигізетін оң әсері, қалдықтарды азайтуға және қауіпсіз өндіріс процестерін дамытуға бағытталуы болып табылады. Сонымен қатар, бұл сала жаңашыл технологиялар мен ғылыми зерттеулерге негізделген, ал экологиялық заңнамалардың қатаюы мен тұтынушылардың экологиялық таза өнімдерге сұранысының артуы оның дамуына қосымша серпін береді. Дегенмен, жасыл химия өнімдерінің өзіндік құнының жоғары болуы, дәстүрлі химия өнеркәсібінің қарсылығы және технологиялық кедергілер оның кең таралуына белгілі бір қиындықтар туғызады.

PEST талдауы арқылы жасыл химияның дамуына әсер ететін саяси, экономикалық, әлеуметтік және технологиялық факторлар анықталды. Бұл сала үкіметтік қолдауға, экологиялық стандарттардың қатаюына және тұтынушылардың экологиялық сана-сезімінің артуына тәуелді. Сонымен қатар, жасыл қаржы құралдарының дамуы, ғылыми зерттеулерге инвестициялардың артуы және қайта өңдеу технологияларының жетілдірілуі бұл саланың болашақта тұрақты түрде өсуіне ықпал етеді.

Жасыл химияның болашағы өте перспективалы, алайда оның кеңінен таралуы үшін инвестицияларды арттыру, өндіріс технологияларын жетілдіру, экологиялық саясатты тиімді жүргізу және тұтынушыларды экологиялық өнімдерді пайдалануға ынталандыру қажет. Ұзақ мерзімді перспективада экологиялық қауіпсіз химия дәстүрлі химиялық өндірістердің орнын басып, тұрақты дамудың маңызды бөлігіне айналуы мүмкін.

Қорытынды

Қазіргі заманғы химия өнеркәсібінің қоршаған ортаға кері әсері – адамзат алдында тұрған басты экологиялық мәселелердің бірі. Улы қалдықтардың түзілуі, парниктік газдардың шығарылуы мен табиғи ресурстардың шектен тыс пайдаланылуы – бұл жағдайлар химия ғылымына жаңа міндеттер жүктеді. Осыған жауап ретінде пайда

болған жасыл химия тұжырымдамасы – ғылым мен технологияның экологияға деген жаңа көзқарасын білдіреді.

Жасыл химия табиғатты қорғауға бағытталған баламалы әдістерді ұсынып қана қоймай, өндіріс саласына экологиялық сана мен тиімді шешімдер енгізуді көздейді. Ол тек реакция нәтижесін емес, бүкіл химиялық процесті қайта қарауды ұсынады – шикізат таңдауынан бастап, соңғы өнімнің ыдырауына дейін. Бұл бағыттың басты ерекшелігі – ластанудың алдын алу, яғни мәселені туындағаннан кейін емес, оны бастан-ақ болдырмау. Анастас пен Уорнер ұсынған 12 қағида – бұл химияның жаңа мәдениетіне айналған ғылыми және өндірістік бағдар.

Жасыл химия принциптері негізінде әзірленген жаңа технологиялар – нанокатализ, биологиялық ыдырайтын материалдар, суперкритикалық және иондық еріткіштер – қазіргі таңда өндірістің әртүрлі салаларында сәтті қолданылуда. Бұлар энергияны аз тұтынып, зиянды қалдықтардың көлемін күрт төмендетуге мүмкіндік береді.

Осылайша, жасыл химия – болашақтың ғылымы. Ол тек экологиялық қауіпсіздікке ғана емес, сонымен қатар экономикалық тиімділік пен әлеуметтік жауапкершілікке де негізделеді. Бұл сала ғылым мен өндірістің, білім мен қоғамның арасындағы байланысты күшейтіп, тұрақты даму жолындағы нақты қадам болып табылады.

Экологиялық қауіпсіз химия – қоршаған ортаны қорғаудың маңызды құралы. Ол өнеркәсіптік ластаушы заттарды азайту, энергия тиімділігін арттыру және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану арқылы тұрақты дамуға ықпал етеді. Ластаушы заттардың шығарындыларын азайту үшін химия саласындағы ғалымдар, кәсіпорындар мен мемлекеттік органдар бірлесе жұмыс істеуі қажет. Инновациялық химиялық технологиялар арқылы біз экологиялық қауіпсіз болашақ құра аламыз.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Тюрин, Ю. А. (2015). Зелёная химия и основы устойчивого развития. *Химическая технология*, 4(2), 15–23.
- European Environment Agency. (2021). *Green chemistry and sustainability*. <https://www.eea.europa.eu>
- Sheldon, R. A. (2017). Metrics of green chemistry and sustainability: Past, present, and future. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(1), 10–17. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b03435>
- Zhang, W., Cue, B. W., & Koenig, T. (2020). Sustainable chemistry in the pharmaceutical industry. *Chemical Reviews*, 120(14), 7265–7303. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00880>
- Kerton, F. M., & Marriott, R. (2013). *Alternative solvents for green chemistry*. Royal Society of Chemistry.
- Ragauskas, A. J., Williams, C. K., & Davison, B. H. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 311(5760), 484–489. <https://doi.org/10.1126/science.1114736>
- Голубина, Е. В., & Локтева, Е. С. (б.ж.). *Зеленая химия в вопросах и ответах*. <http://www.greenchemistry.ru>
- Фадеев, Г. Н., & Фадеева, С. А. (2011). Знакомьтесь: «зеленая химия». *Химия: учебно-методический журнал для учителей химии и естествознания*, (13), 16–19.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Green and sustainable chemistry*. <https://www.unep.org>