

№1 Жасыл химияның концептуалды негіздері: Тарихы, мақсаты және даму бағыттары

1. Жасыл химияның пайда болуы және дамуының тарихи-әлеуметтік алғышарттары

Химия ғылымының тарихында XX ғасырдың екінші жартысы «химиялық революция» кезеңі ретінде сипатталғанымен, бұл прогрестің көлеңкелі жағы — экологиялық дағдарыстың тереңдеуі болды. 1950-1960 жылдары химиялық өнеркәсіп пестицидтерді, пластиктерді және синтетикалық материалдарды жаппай өндіре бастады. Алайда, 1962 жылы Рейчел Карсонның «Үнсіз көктем» (Silent Spring) атты еңбегінің жарық көруі қоғамда үлкен серпіліс туғызды. Ол химиялық заттардың, атап айтқанда ДДТ сияқты пестицидтердің биосфераға тигізетін жойқын әсерін ғылыми негіздеп берді. Осы кезеңнен бастап «химия» термині қоғамдық санада «ластану» және «улану» ұғымдарымен қатар жүре бастады.

1970-1980 жылдары орын алған ірі техногендік апаттар жағдайды одан сайын ушықтырды. 1984 жылғы Үндістандағы Бхопал газ трагедиясы (метилизоцианаттың ағуы), 1976 жылғы Италиядағы Севезо апаты (диоксинмен ластану) және Рейн өзенінің химиялық қалдықтармен жаппай ластануы дәстүрлі химиялық технологиялардың қауіпсіздік деңгейінің төмендігін көрсетті. Сол кездегі экологиялық саясат тек «құбыр соңындағы тазарту» (end-of-pipe) стратегиясына, яғни қалдықтар түзіліп қойғаннан кейін оларды сүзу немесе көму әдістеріне негізделді. Алайда бұл әдіс экономикалық тұрғыдан өте шығынды болды. 1990 жылы АҚШ-та қабылданған «Ластанудың алдын алу туралы» заң (Pollution Prevention Act) химия тарихындағы бетбұрыс кезең болды. Осы заң аясында АҚШ-тың Қоршаған ортаны қорғау агенттігінде (EPA) жұмыс істеген Пол Анастас «Жасыл химия» терминін ресми айналымға енгізді.

Пол Анастас пен Джон Уорнердің ғылыми жолы: Пол Анастас пен Джон Уорнер — Жасыл химияның "архитекторлары". Олардың серіктестігі 90-жылдардың басында басталды. Пол Анастас ЕРА-да саяси және стратегиялық шешімдермен айналысса, Джон Уорнер Массачусетс университетінде зерттеуші-ғалым ретінде практикалық негізін қалады. Олардың басты идеясы — химияны "айыптаушы" емес, "құтқарушы" ғылымға айналдыру болды. Олар химиялық синтезді молекулалық деңгейде қайта жоспарлау арқылы улы заттардың пайда болуын мүлдем жоюға болатынын дәлелдеді. 1998 жылы олардың "Green Chemistry: Theory and Practice" атты кітабы шыққаннан кейін, бұл бағыт әлемдік университеттердің оқу бағдарламаларына ене бастады.

2. Дәстүрлі химиялық өндірістің статистикалық анализі және жасыл химияның мақсаты

1990 жылға дейінгі статистикалық деректер дәстүрлі химияның қоршаған ортаға тигізген зардабы орасан зор болғанын көрсетеді. Мысалы, фармацевтикалық өндірісте 1 кг өнім алу үшін орташа есеппен 25-тен 100 кг-ға дейін қалдық түзілетін. Бұл

көрсеткіш "E-factor" (экологиялық фактор) деп аталады. Мұнай өңдеу саласында бұл көрсеткіш 0.1-ге тең болса, нәзік органикалық синтезде ол 100-ден асып кететін. Бұл қалдықтардың басым бөлігі ұлы органикалық еріткіштер мен ауыр металдар катализаторлары болды. Дәстүрлі химиялық технологиялардың "Атомдық тиімділігі" (Atom Economy) кей жағдайларда 10-20%-дан аспайтын, яғни шикізаттың 80%-ы пайдасыз қоқысқа айналатын.

Жасыл химия пәнінің заманауи ғылым жүйесіндегі мақсаты өте ауқымды. Оның басты стратегиялық мақсаты — химиялық заттар мен процестердің бүкіл өмірлік циклін (life cycle) адам денсаулығы мен қоршаған орта үшін мүлдем қауіпсіз деңгейге жеткізу. Пәннің алдына қойған негізгі міндеттері төмендегідей:

- **Қалдықтарды болдырмау:** Қалдықтар түзілгеннен кейін оларды тазалаудан гөрі, олардың пайда болуына жол бермеу тиімдірек.
- **Атомдық тиімділікті арттыру:** Синтез әдістерін барлық бастапқы материалдар соңғы өнімге барынша қосылатындай етіп жасау.
- **Төмен токсинді синтез:** Адам денсаулығы мен табиғатқа токсинділігі аз немесе мүлдем жоқ заттарды қолдану.
- **Жаңартылатын шикізат:** Таусылатын ресурстардың (мұнай) орнына жаңартылатын биомассаны пайдалану.

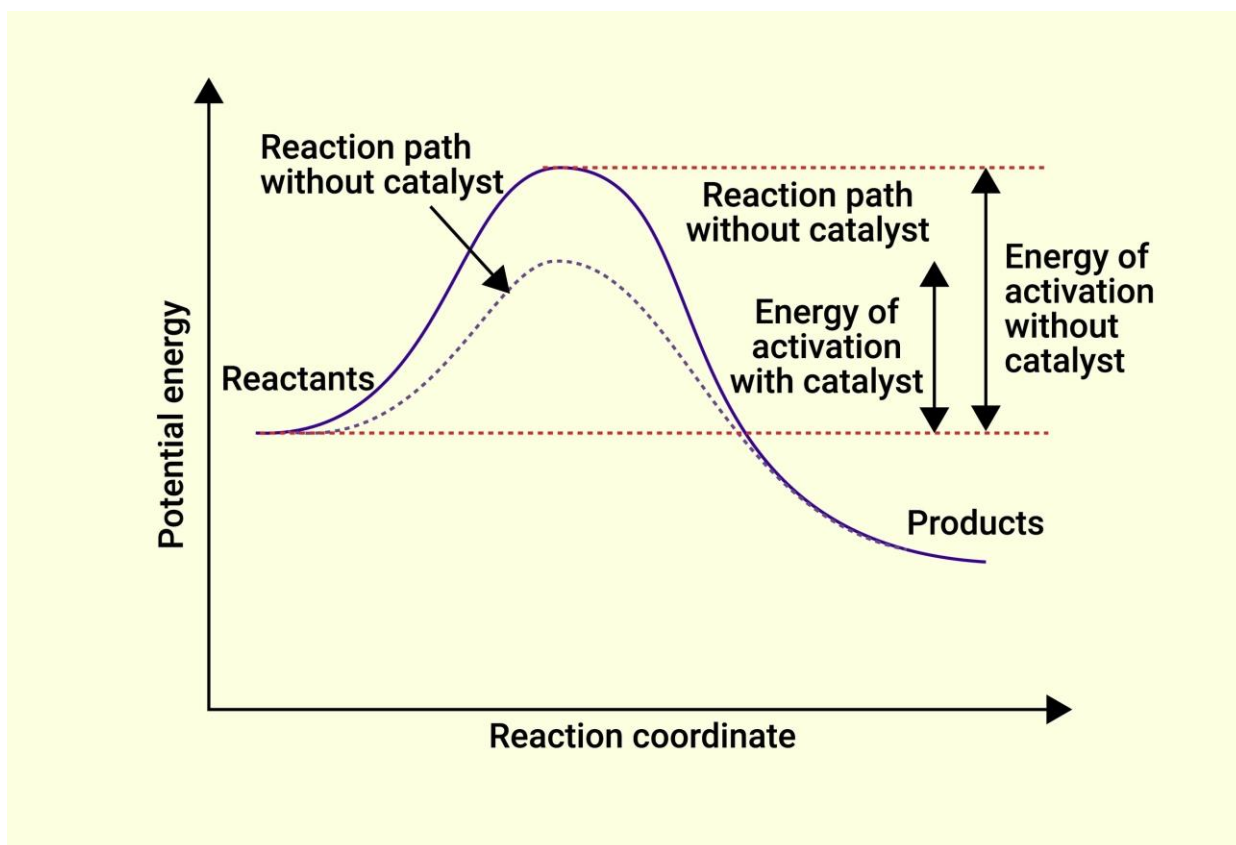
3. Жасыл химияның негізгі бағыттары мен инновациялық даму тенденциялары

Заманауи Жасыл химияның даму бағыттары биология, физика және инженерия салаларымен тығыз интеграциялануда. Ең басты бағыт — химиялық өндірістің шикізат базасын декарбонизациялау.

А) Баламалы шикізат ретіндегі биомасса: Бұл бағыт аясында целлюлоза, лигнин және өсімдік майлары сияқты табиғи полимерлерден жоғары технологиялық материалдар алудың әдістері зерттелуде. Мысалы, бидай сабаны мен жүгері қалдықтарынан биопластиктер (PLA) алу бүгінде әлемдік нарықта үлкен сұранысқа ие. Бұл тек қоқыс мәселесін шешіп қана қоймай, атмосфераға бөлінетін SCO_2 мөлшерін азайтады.

Ә) Жасыл еріткіштер және еріткішсіз синтез: Еріткіштер химиялық өндірістегі ең үлкен ластаушы көз болып табылады. Оларды сумен, иондық сұйықтықтармен немесе суперкритикалық SCO_2 -мен алмастыру — Жасыл химияның стратегиялық басымдығы. Суперкритикалық көмірқышқыл газы бүгінде кофеинсіз кофе өндірісінде және химиялық тазалауда кеңінен қолданылады. Механохимия бағыты болса, реакцияларды еріткішсіз, жай ғана механикалық күшпен (үгіту) жүргізуге мүмкіндік береді.

Б) Катализ және энергия тиімділігі: Катализаторлар — Жасыл химияның "жүрегі". Олар реакцияның активтену энергиясын төмендетіп, процесті төмен температурада жүргізуге мүмкіндік береді. Әсіресе биокатализ (ферменттер) мен фотокатализ (күн сәулесі) бағыттары өте өзекті. Күн энергиясын пайдаланып, судан сутегі отынын алу — энергетикалық тәуелділікті шешудің кілті.



[Открывается в новом окне](#)

Shutterstock

4. Халықаралық тенденциялар және Қазақстанның экологиялық даму контексті

Жаһандық деңгейде "Жасыл келісім" (Green Deal) бағдарламалары химиялық өнімдердің қауіпсіздігіне қойылатын талаптарды күшейтті. Бұл ретте «цифрлық химия» (Digital Chemistry) және жасанды интеллектті қолдану арқылы жаңа қауіпсіз молекулаларды жобалау бағыты ерекше маңызға ие болуда. Компьютерлік модельдеу лабораториялық тәжірибе жасамас бұрын заттың токсикологиялық қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді.

Қазақстан Республикасы үшін Жасыл химия принциптерін енгізу — ұлттық қауіпсіздік мәселесі. Еліміздің мұнай-химия және тау-кен металлургия салаларында қалдықтарды қайта өңдеу мен жабық технологиялық циклдерді енгізудің әлеуеті өте жоғары. Сонымен қатар, еліміздің ауыл шаруашылығы әлеуеті жаңартылатын биомасса шикізатын пайдаланып, экологиялық таза өнімдер өндіруге жол ашады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. **Anastas, P. T., & Warner, J. C.** (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press. (Жасыл химияның іргетасын қалаған еңбек).
2. **Lancaster, M.** (2010). *Green Chemistry: An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry. (Теориялық негіздер мен мысалдар жинағы).

3. **Clark, J. H., & Macquarrie, D. J.** (2002). *Handbook of Green Chemistry and Technology*. Blackwell Science. (Технологиялық бағыттағы анықтамалық).
4. **Matlack, A. S.** (2010). *Introduction to Green Chemistry*. CRC Press. (Жасыл химия философиясы мен бағыттары).
5. **Sheldon, R. A.** (2007). *Green Chemistry and Catalysis*. Wiley-VCH. (Катализдің жасыл химиядағы рөлі туралы ғылыми еңбек).