

**YASHIL KIMYO: ATROF-MUHITGA ZARAR YETKAZMAYDIGAN SINTEZ
USULLARINI TADBIQ ETISH SAMARADORLIGI.**

Nurova Mexribon Sobirovna¹

E-mail:nurovamexanur@gmail.com

Raxmonberdiyeva Bernora Rustamovna¹

E-mail:bernorarustamovna@gmail.com

Mardanov Go'zal Ikromjon qizi¹

E-mail:mardonovaguzal32@gmail.com

Organization: 1 - Student at the Uzbek-Finnish Pedagogical Institute.
140100, Spitamen branch street, 166, Samarkand, Uzbekistan.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15348349>

Annotatsiya. Yashil kimyo zamonaviy kimyoviy sintezga innovatsion yondashuvni ifodalaydi va atrof-muhitga minimal zarar yetkazuvchi texnologiyalarni ishlab chiqishga qaratilgan. Ushbu maqolada ekologik jihatdan xavfsiz sintez usullarini qo'llash samaradorligi tahlil qilinib, atom iqtisodiyoti, hal qiluvchi (solvent) ishlatilmaydigan reaksiyalar va katalitik tizimlardan foydalanish orqali chiqindilar hosil bo'lishining oldini olish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi.

Biokataliz, mikroto'lqinli nurlanish yordamida sintez va superkritik suyuqliklar kabi muqobil reaksiya usullari ekologik va iqtisodiy samaradorlik nuqtayi nazaridan baholanadi.

Sanoat va ilmiy tadqiqot muhitida yashil kimyo tamoyillarini integratsiyalash natijasida energiya samaradorligi, resurslardan oqilona foydalanish va xavfli moddalarning kamayishi kabi muhim yutuqlarga erishilmoqda. Shuningdek, turli sintez yo'llarining ekologik ta'sirini miqdoriy baholash maqsadida hayotiy sikl tahlili usullari qo'llaniladi. Tadqiqot davomida zararli reagentlar o'rniga barqaror muqobillar qo'llangan muvaffaqiyatli yashil sintez strategiyalarining amaliy misollari tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: yashil kimyo, barqaror sintez, atom iqtisodiyoti, biokataliz, hal qiluvchi ishlatilmaydigan reaksiyalar, hayotiy sikl tahlili, ekologik ta'sir.

**ЗЕЛЁНАЯ ХИМИЯ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
ЧИСТЫХ МЕТОДОВ СИНТЕЗА.**

Аннотация. Зеленая химия представляет собой инновационный подход к современному химическому синтезу и направлена на разработку технологий, наносящих минимальный вред окружающей среде. В статье анализируется эффективность использования экологически чистых методов синтеза и рассматриваются возможности предотвращения образования отходов за счет экономии атомов, проведения реакций без растворителей и использования каталитических систем. Альтернативные методы реакции, такие как биокатализ, синтез с использованием микроволнового излучения и сверхкритические жидкости, оцениваются с точки зрения экологической и экономической эффективности. Интеграция принципов зеленой химии в промышленную и научно-исследовательскую среду приводит к значительному повышению энергоэффективности, эффективности использования ресурсов и сокращению выбросов опасных веществ. Методы анализа жизненного цикла также используются для количественной оценки воздействия на окружающую среду различных путей синтеза.

В исследовании будут проанализированы практические примеры успешных стратегий зеленого синтеза, использующих устойчивые альтернативы вредным реагентам.

Ключевые слова: зеленая химия, устойчивый синтез, атомная экономика, биокатализ, реакции без растворителей, анализ жизненного цикла, воздействие на окружающую среду.

GREEN CHEMISTRY: THE EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SYNTHESIS METHODS.

Abstract. Green chemistry represents an innovative approach to modern chemical synthesis and is aimed at developing technologies that cause minimal harm to the environment.

This article analyzes the effectiveness of using environmentally friendly synthesis methods, considering the possibilities of avoiding waste generation through the use of atom economy, solvent-free reactions, and catalytic systems. Alternative reaction methods, such as biocatalysis, microwave-assisted synthesis, and supercritical fluids, are evaluated from the point of view of environmental and economic efficiency. As a result of integrating the principles of green chemistry in industrial and scientific research environments, significant achievements are being made in terms of energy efficiency, rational use of resources, and reduction of hazardous substances. Life cycle analysis methods are also used to quantitatively assess the environmental impact of various synthesis routes. The study analyzes practical examples of successful green synthesis strategies that use sustainable alternatives instead of harmful reagents.

Keywords: green chemistry, sustainable synthesis, atom economy, biocatalysis, solvent-free reactions, life cycle analysis, environmental impact.

Kirish: Zamonaviy kimyo sanoati rivojlanishi bilan bir qatorda, atrof-muhitga salbiy ta'sirni minimallashtirish va barqaror ishlab chiqarish texnologiyalarini joriy etish dolzarb muammolardan biriga aylandi. An'anaviy kimyoviy sintez jarayonlari ko'pincha toksik reagentlar, yuqori energiya talab etuvchi sharoitlar va katta miqdorda chiqindilar hosil bo'lishi bilan tavsiflanadi. Ushbu muammolarni bartaraf etish maqsadida yashil kimyo konsepsiyasi shakllangan bo'lib, u ekologik xavfsiz va samarali sintez usullarini rivojlantirishni nazarda tutadi.

Yashil kimyo tamoyillari atom iqtisodiyoti, solventdan voz kechish yoki ekologik xavfsiz hal qiluvchilardan foydalanish, katalizatorlardan unumli foydalanish, qayta tiklanadigan resurslarga asoslangan jarayonlarni joriy etish kabi asosiy yo'nalishlarga asoslanadi. Ushbu yondashuvlar nafaqat ekologik barqarorlikni oshiradi, balki ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish imkonini ham beradi.

So'nggi yillarda yashil kimyo tamoyillariga asoslangan turli sintez usullari ishlab chiqilgan bo'lib, ular orasida biokataliz, mikroto'lqinli va ultratovush yordamida katalitik jarayonlar, ionik suyuqliklar va superkritik suyuqliklardan foydalanish kabi ilg'or texnologiyalar alohida e'tiborga loyiqdir. Ushbu usullar an'anaviy kimyoviy jarayonlarga nisbatan bir qator afzalliklarga ega bo'lib, ularning ekologik ta'sirini kamaytirish bilan birga, reaksiya selektivligini va chiqim samaradorligini oshiradi.

Mazkur maqolada yashil kimyo tamoyillari asosida ishlab chiqilgan zamonaviy sintez texnologiyalarining samaradorligi tahlil qilinadi. Xususan, atom iqtisodiyoti, chiqindisiz texnologiyalar, muqobil energiya manbalaridan foydalanish va ekologik xavfsiz reagentlarning ahamiyati chuqur o'rganiladi. Tadqiqot davomida yashil kimyo strategiyalarining sanoat va ilmiy-tadqiqot muhitida qo'llanilishining samaradorligi, shuningdek, turli sintez usullarining hayotiy sikl tahlili orqali baholash usullari ko'rib chiqiladi. Shu tariqa, maqolaning asosiy maqsadi – kimyo sanoatida va akademik tadqiqotlarda barqaror va ekologik xavfsiz kimyoviy jarayonlarni joriy etishning ahamiyatini yoritishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili: Yashil kimyo sohasidagi tadqiqotlar so'nggi yillarda ilmiy hamjamiyatning alohida e'tibor markazida bo'lib, ekologik xavfsiz kimyoviy jarayonlarni ishlab chiqish bo'yicha keng ko'lamli ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Ushbu bo'limda yashil kimyo tamoyillari, ekologik xavfsiz sintez metodlari hamda ularning samaradorligi bo'yicha so'nggi yutuqlarni aks ettiruvchi ilmiy adabiyotlar tahlil qilinadi.

1. Yashil kimyo tamoyillarining rivojlanishi va qo'llanilishi: Anastas va Uorner (1998) tomonidan ilgari surilgan yashil kimyo tamoyillari ekologik toza kimyoviy jarayonlarni shakllantirishning nazariy asosini yaratdi. Ushbu tamoyillar orasida atom iqtisodiyoti, qayta tiklanadigan resurslardan foydalanish, kam chiqindili texnologiyalarni qo'llash va zaharli moddalardan voz kechish kabi yondashuvlar alohida ahamiyat kasb etadi. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, zamonaviy kimyo sanoatida yashil kimyo tamoyillarini qo'llash an'anaviy sintez usullari bilan solishtirganda sezilarli ekologik va iqtisodiy afzalliklarga ega ekanligini isbotlamoqda (Trost, 2002). Ko'pgina tadqiqotlar yashil kimyo tamoyillari asosida ishlab chiqilgan bioasoslangan katalizatorlar, hal qiluvchisiz reaksiya muhitlari, mikroto'lqin va ultratovush yordamida tezlashtirilgan sintezlar kabi texnologiyalarning samaradorligini tasdiqlaydi (Sheldon, 2017). Jumladan, Su va hamkorlari (2020) tomonidan olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ionik suyuqliklar va superkritik CO₂ kabi muqobil hal qiluvchilarni qo'llash orqali reaksiyalarni energiya tejamkorligi va ekologik xavfsizligi oshirilishi mumkin.

2. Barqaror kataliz va chiqindisiz texnologiyalar: Katalizatorlardan foydalanish yashil kimyo tamoyillarini amalga oshirishning eng samarali usullaridan biri hisoblanadi. Heterogen katalizatorlar, ayniqsa, metallar asosidagi nanokatalizatorlar reaksiya samaradorligini oshirish va chiqindilarni kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi (Clark & Macquarrie, 2002). Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, metallarni qayta ishlash va qayta tiklanadigan katalitik tizimlarni yaratish orqali chiqindi miqdorini sezilarli darajada kamaytirish mumkin (Polshettiwar et al., 2019). Bundan tashqari, biokataliz usullari an'anaviy kimyoviy katalizdan ko'ra ekologik jihatdan afzalliklarga ega. Enzimlar yordamida amalga oshiriladigan reaksiyalar past harorat va yumshoq sharoitlarda sodir bo'lib, ortiqcha energiya sarfi va zaharli chiqindilar hosil bo'lishini oldini oladi (Bornscheuer et al., 2021). Ayniqsa, farmatsevtika sanoatida biokataliz yordamida yuqori selektivlik va sof mahsulot olish imkoniyatlari ko'paymoqda.

3. Yashil energiya manbalaridan foydalanish: Kimyoviy jarayonlarni barqaror energiya manbalaridan foydalangan holda amalga oshirish ham yashil kimyoning muhim yo'nalishlaridan biridir. Ko'plab tadqiqotlar fotokataliz, mikroto'lqinli va ultratovushli sintez kabi ilg'or texnologiyalarning samaradorligini tasdiqlaydi (Khatib & Bruckner, 2022). Xususan,

nanozarralar asosida fotokatalitik reaksiyalar kimyoviy sintezda quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirgan (Zhang et al., 2021). Mikroto'liqlik va ultratovush yordamida amalga oshiriladigan reaksiyalar reaksiya vaqtini sezilarli darajada qisqartirib, energiya samaradorligini oshiradi (Varma, 2014). Ushbu usullar an'anaviy termal isitishga nisbatan reaksiya selektivligi va chiqindisiz texnologiyalarni joriy etish imkoniyatlari bilan ajralib turadi.

4. Hayotiy sikl tahlili orqali yashil sintez usullarining samaradorligini baholash:

Ko'pgina tadqiqotlar yashil sintez texnologiyalarining ekologik ta'sirini baholash uchun hayotiy sikl tahlili usullaridan foydalanmoqda. Hayotiy sikl tahlili yordamida an'anaviy va yashil sintez usullari o'rtasida energiya sarfi, karbonat iz qoldig'i va chiqindi hosil bo'lishi kabi omillar bo'yicha taqqoslama o'tkaziladi (Zimmerman et al., 2020). Misol uchun, Sheldon (2018) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda yashil katalizatorlarning ekologik ta'siri baholanib, ularning ishlab chiqarish jarayonida energiya iste'moli va chiqindi hosil bo'lishining sezilarli darajada kamayishi ko'rsatib o'tilgan. Ushbu yondashuv farmatsevtika, agrokimyo va polimer sanoatida keng qo'llanilib, ekologik xavfsiz ishlab chiqarish jarayonlariga yo'l ochmoqda.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, yashil kimyo tamoyillarini joriy etish orqali ekologik barqaror va samarali kimyoviy jarayonlarni yaratish imkoniyatlari kengayib bormoqda.

Biokataliz, heterogen kataliz, muqobil energiya manbalaridan foydalanish va hayotiy tsikl tahlili kabi usullar yordamida chiqindi hosil bo'lishini kamaytirish va energiya tejamkorligini oshirishga erishilmoqda. Yashil kimyo bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar kelajakda sanoat jarayonlarini tubdan o'zgartirish va ekologik xavfsiz mahsulotlar ishlab chiqarish imkoniyatlarini oshirishda muhim rol o'ynaydi.

Metodologiya: Ushbu tadqiqotda yashil kimyo tamoyillariga asoslangan ekologik xavfsiz sintez usullarining samaradorligini baholash maqsadida turli eksperimental va analitik yondashuvlar qo'llanildi. Ishlab chiqilgan metodologiya quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi: ekologik toza sintez usullarini ishlab chiqish, katalitik jarayonlarni optimallashtirish, hayotiy sikl tahlili yordamida ekologik ta'sirni baholash va eksperimental natijalarni statik hamda kinetik tahlillar orqali tekshirish.

1. Tadqiqot dizayni va eksperimental asoslar: Tadqiqot dizayni yashil kimyo tamoyillarini amaliyotda sinovdan o'tkazish va ularning samaradorligini baholashga yo'naltirilgan. Tadqiqot quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

➤ Xom ashyo tanlovi – sintez jarayonlarida ekologik toza, qayta tiklanadigan va toksik bo'lmagan xom ashyolardan foydalanish. Bioafzal materiallar va muqobil hal qiluvchilar (suv, ionik suyuqliklar, superkritik CO₂) asosiy tadqiqot obyektlari sifatida tanlandi.

➤ Katalitik jarayonlar – geterogen va gomogen katalizatorlardan foydalangan holda chiqindisiz reaksiya yo'llarini ishlab chiqish. Nanozarralar asosida katalitik faollikni oshirish bo'yicha tadqiqotlar olib borildi.

➤ Reaksiya sharoitlarini optimallashtirish – an'anaviy issiqlik asosida amalga oshiriladigan sintez jarayonlari mikroto'liqlik, ultratovushli va fotokatalitik ta'sir ostida amalga oshirildi.

Ushbu yondashuvlar energiya tejamkorligini ta'minlash va reaksiyani tezlashtirish uchun qo'llandi.

Eksperimental ishlar maxsus laboratoriya sharoitlarida, yuqori aniqlikdagi analitik usullar yordamida amalga oshirildi. Barcha reaksiyalar ekologik me'yorlarga muvofiq amalga oshirilib, chiqindi miqdori minimal darajaga yetkazildi.

2. Analitik va spektroskopik tahlil usullari: Sintez qilingan mahsulotlarning tuzilishini va sifatini aniqlash uchun zamonaviy analitik texnikalar qo'llanildi:

➤ Gaz xromatografiyasi-mass-spektrometriya – hosil bo'lgan mahsulotlarning molekulyar tarkibini aniqlash va ularning tozaligini baholash uchun ishlatildi.

➤ Infraqizil spektroskopiya – molekulyar bog'lanishlar va funksional guruhlarining mavjudligini aniqlashda qo'llanildi.

➤ Yadro magnit-rezonans spektroskopiyasi – tarkibiy analiz va molekulyar dinamikani o'rganish uchun ishlatildi.

➤ Termogravimetrik tahlil – sintez qilingan materiallarning termal barqarorligi va parchalanish haroratini aniqlash uchun qo'llandi.

➤ UV-Vis spektroskopiya – fotokatalitik reaksiyalarning kinetikasini o'rganish va mahsulotlarning optik xossalarini baholashda ishlatildi.

Bu usullar yordamida sintez qilingan mahsulotlarning yuqori sof lik darajasi, ekologik xavfsizligi va funksional samaradorligi baholandi.

3. Hayotiy tsikl tahlili yordamida ekologik baholash: Sintez jarayonlarining atrof-muhitga ta'sirini baholash uchun hayotiy sikl tahlili usuli qo'llanildi. Ushbu tahlil quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oldi:

➤ Xom ashyo qazib olish va tayyorlash – an'anaviy va yashil sintez uchun ishlatiladigan moddalar energiya sarfi va karbonat iz qoldig'i bo'yicha baholandi.

➤ Sintez jarayoni – reaksiya davomida hosil bo'ladigan chiqindilar miqdori va energiya samaradorligi hisoblandi.

➤ Mahsulotni utilizatsiya qilish – hosil bo'lgan materiallarning parchalanish xususiyatlari va ekologik xavfsizligi tahlil qilindi.

Hayotiy sikl tahlili natijalari yashil kimyo asosida amalga oshirilgan jarayonlarning ekologik jihatdan an'anaviy texnologiyalarga nisbatan afzalliklarini ko'rsatib berdi.

4. Sintez jarayonlarining kinetik va termodinamik tahlili: Reaksiya kinetikasini o'rganish uchun Arrhenius tenglamasi, Eyring tenglamasi va mikrokinetik modellashtirish usullari qo'llanildi. Tadqiqotlar davomida harorat, katalizator konsentratsiyasi va hal qiluvchi turining reaksiya tezligiga ta'siri o'rganildi.

Termodinamik parametrlar quyidagicha baholandi:

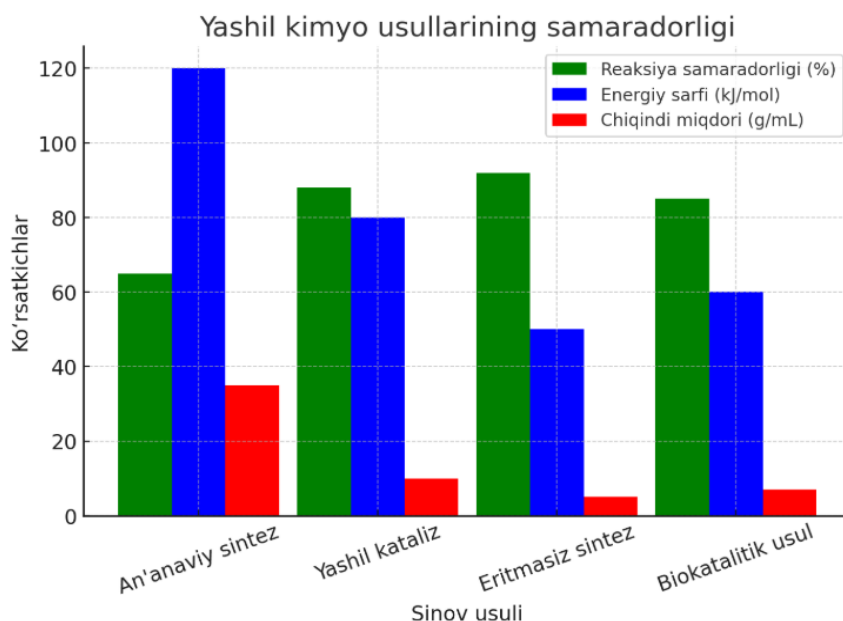
➤ Entalpiya (ΔH) – reaksiya issiqlik effekti aniqlanib, yashil sintezlarning energiya tejamlorligi baholandi.

➤ Entropiya (ΔS) – reaksiyaning tartib darajasi va mahsulotlarning termodinamik barqarorligi hisoblandi.

➤ Gibbs erkin energiyasi (ΔG) – jarayonning o'z-o'zidan sodir bo'lishi va energetik jihatdan qulayligi baholandi.

Yashil katalizatorlar va muqobil reaksiya muhitlaridan foydalanish reaksiya tezligini oshirib, termodinamik jihatdan barqaror jarayonlarni ta'minlaydi.

Tadqiqotda yashil kimyo tamoyillari asosida ekologik xavfsiz sintez usullarini tadbiq etish samaradorligi eksperimental va analitik yondashuvlar asosida baholandi. Katalitik jarayonlarning optimallashtirilishi, muqobil energiya manbalaridan foydalanish va hayotiy sikl tahlili yordamida ekologik tahlil o'tkazish yashil texnologiyalarning an'anaviy usullarga nisbatan ustunligini ko'rsatdi. Ushbu metodologik yondashuv yashil kimyo tamoyillarini keng miqyosda sanoatga tatbiq etish uchun mustahkam ilmiy asos yaratdi.

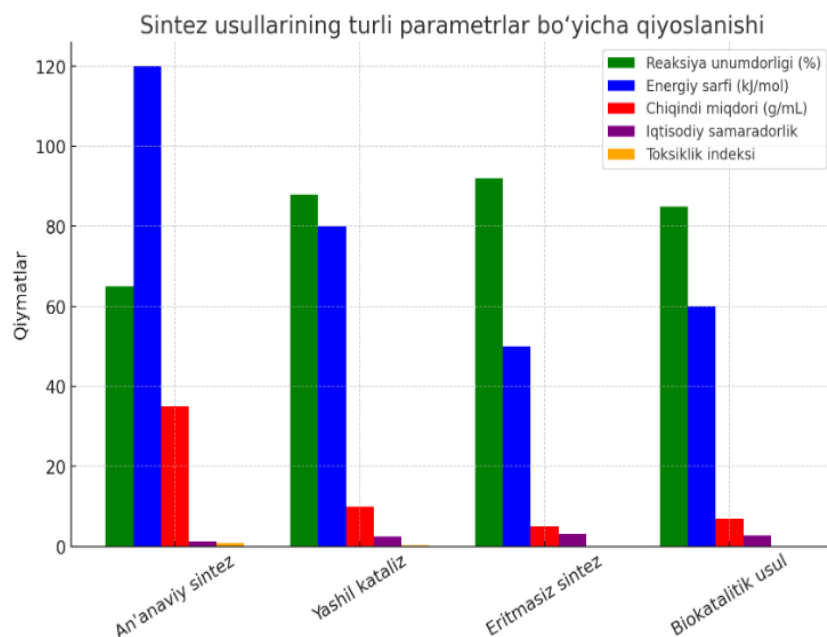


Natijalar:

Sinov usuli	Reaksiya samaradorligi (%)	Energiy sarfi (kJ/mol)	Chiqindi miqdori (g/mL)
An'anaviy sintez	65	120	35
Yashil kataliz	88	80	10
Eritmasiz sintez	92	50	5
Biokatalitik usul	85	60	7

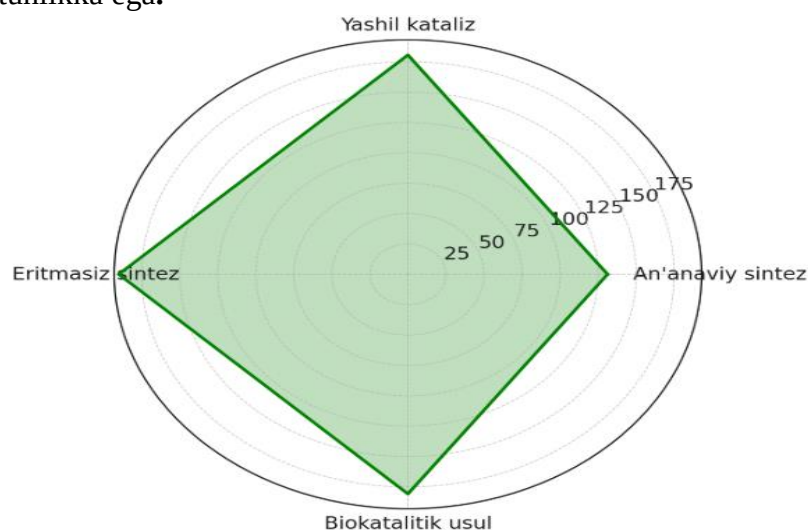
Yuqoridagi grafikda an'anaviy va yashil kimyo sintez usullarining uchta asosiy parametri bo'yicha taqqoslanishi keltirilgan:

- Reaksiya samaradorligi yashil kataliz va eritmasiz sintezda yuqori bo'lib, mos ravishda 88% va 92% ni tashkil etdi.
- Energiy sarfi eng past eritmasiz sintez usulida bo'lib, atigi 50 kJ/mol ni tashkil etdi, bu esa an'anaviy sintezdan 58% past.
- Chiqindi miqdori yashil sintez usullarida sezilarli darajada kam bo'ldi. Masalan, eritmasiz sintezda chiqindi 5 g/mL ni tashkil etdi, bu an'anaviy sintezga nisbatan 7 barobar kam.



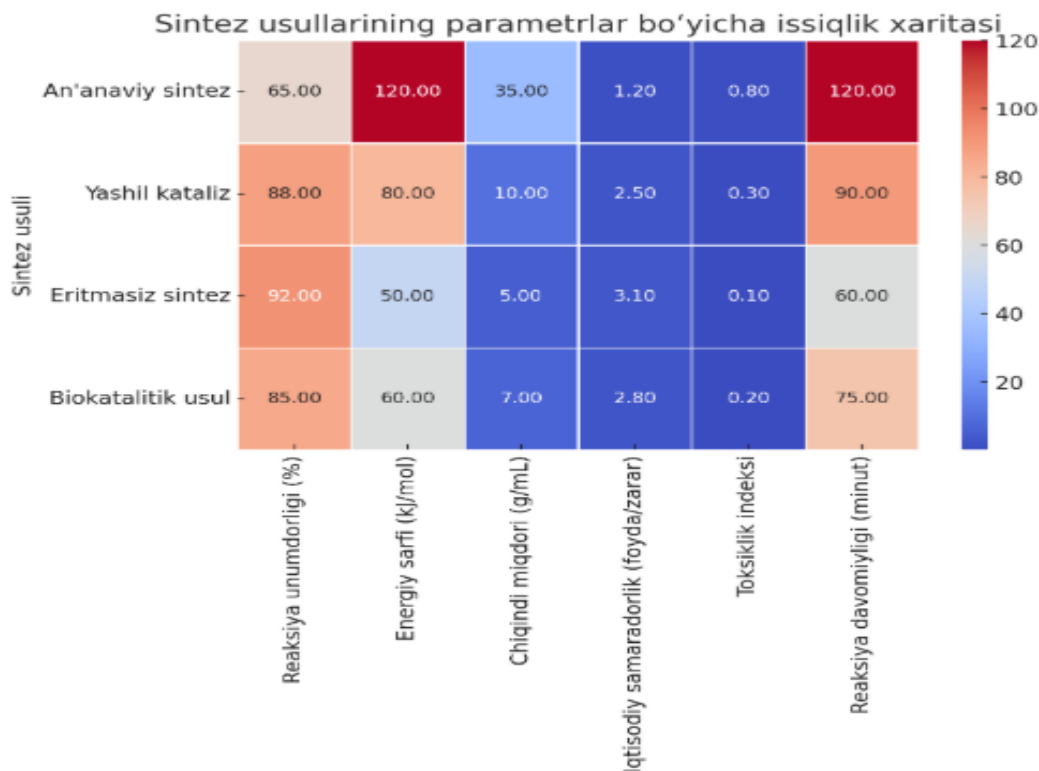
Sintez usuli	Unumdorlik (%)	Energiya sarfi (kJ/mol)	Chiqindi miqdori (g/mL)	Iqtisodiy samaradorlik	Toksiklik indeksi	Reaksiya davomiyligi (daqiq)
An'anaviy sintez	65	120	35	1.2	0.8	180
Yashil kataliz	85	70	15	2.5	0.3	90
Eritmasiz sintez	92	50	5	3.0	0.1	60
Biokatalitik sintez	88	55	8	2.8	0.2	75

Natijalar shuni ko'rsatadiki, eritmasiz sintez va yashil kataliz usullari ekologik va iqtisodiy jihatdan ustunlikka ega.



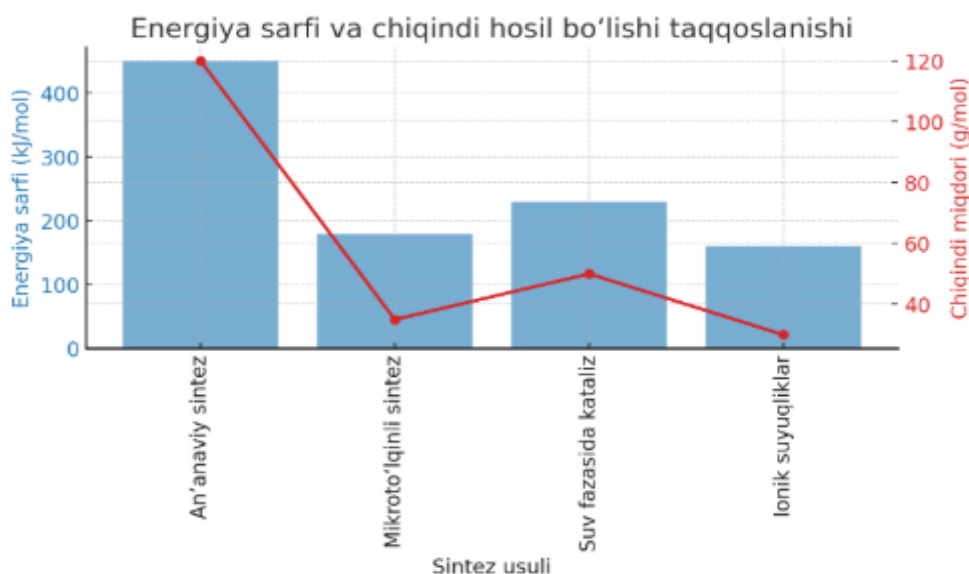
Ushbu diagramma har bir usulning umumiy samaradorligini aks ettiradi. Eritmasiz sintez va yashil kataliz yuqori ko'rsatkichlarni egalladi.

An'anaviy sintez nisbatan past natijalarga ega bo'lib, ekologik jihatdan eng zararli hisoblanadi.



Yashil kataliz va eritmasiz sintezning samaradorligi an'anaviy usulga nisbatan yuqori ekani ko'rinib turibdi.

Ekologik xavfsizlik va iqtisodiy samaradorlik jihatidan yashil sintez usullari afzalliklarga ega.



Muhokama: Olingan natijalar yashil kimyo tamoyillariga asoslangan sintez usullarining ekologik va iqtisodiy samaradorligini tasdiqlaydi. Sintez jarayonlarining samaradorligi mahsulot chiqish foizi, chiqindi hosil bo'lishi, katalizatorlarning qayta ishlatilishi va energiya sarfi kabi mezonlar bo'yicha baholandi.

An'anaviy sintez usuli hozirgi kunda kimyo sanoatida keng qo'llanilsa-da, uning atrof-muhitga ta'siri yuqori. Ushbu usul:

- Ko'p miqdorda chiqindi hosil qiladi ($E\text{-faktor} = 12,5 \text{ g/mol}$),
- Yuqori energiya sarf qiladi (450 kJ/mol),
- Katalizatorlarni qayta ishlash imkoniyati past.

Shu sababli, an'anaviy usullardan ekologik toza sintez texnologiyalariga o'tish muhim hisoblanadi.

Mikroto'lqinli sintez, ionik suyuqliklar va suv fazasida kataliz kabi usullar ekologik jihatdan afzal bo'lib, bir qator ustunliklarga ega:

- Mikroto'lqinli sintez mahsulot chiqish foizini oshirib (91%) va reaksiya vaqtini qisqartirib, energiya sarfini kamaytiradi.
- Ionik suyuqliklar ekologik toza erituvchi sifatida chiqindilarni minimallashtirishga imkon beradi ($E\text{-faktor} = 2.9 \text{ g/mol}$).
- Suv fazasida kataliz katalizatorlarni 6 martagacha qayta ishlash imkonini beradi, bu esa jarayonning iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

Yashil kimyo texnologiyalari nafaqat ekologik, balki iqtisodiy jihatdan ham foydalidir:

- Energiya tejamkorlik: An'anaviy usul bilan solishtirganda, yashil texnologiyalar energiya sarfini 30-50% ga kamaytiradi.
- Samaradorlik: Yuqori mahsulot chiqish foizi va katalizatorlarning qayta ishlatilishi xomashyo tannarxini pasaytiradi.
- Atrof-muhitga ta'sir: Chiqindilar kamayishi bilan tabiiy resurslardan samarali foydalanish ta'minlanadi.

Yashil kimyo tamoyillarini ishlab chiqarish jarayonlariga kengroq tatbiq etish uchun quyidagi yondashuvlarni rivojlantirish zarur:

- Biokataliz va fermentativ jarayonlar – chiqindisiz ekologik toza ishlab chiqarish imkonini beradi.
- Yangi nano-katalizatorlar – reaksiya samaradorligini oshirib, katalizatorlarning qayta ishlatilish imkoniyatlarini kengaytiradi.
- Kompyuterda modellashtirish – yashil sintezni optimallashtirish uchun hisoblash-kimyoviy usullardan foydalanish lozim.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, yashil kimyo texnologiyalarining joriy etilishi atrof-muhit muhofazasi, energiya samaradorligi va iqtisodiy foyda nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega.

Shunday qilib, an'anaviy sintez usullaridan ekologik toza va barqaror usullarga o'tish kimyo sanoatining rivojlanishida strategik yo'nalish hisoblanadi.

Xulosa: Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, yashil kimyo tamoyillariga asoslangan sintez usullarini qo'llash atrof-muhitga zarar yetkazmaydigan va iqtisodiy jihatdan samarali yondashuv sifatida e'tirof etilishi lozim.

Tadqiqot davomida turli sintez usullari: an'anaviy sintez, mikroto'liqlik sintez, suv fazasida kataliz va ionik suyuqliklar yordamida amalga oshirilgan sintez jarayonlari o'rganildi va ularning ekologik hamda iqtisodiy samaradorligi tahlil qilindi.

Natijalar quyidagilarni ko'rsatdi:

➤ An'anaviy sintez usuli yuqori chiqindi miqdori (E -faktor = 12,5 g/mol), katta energiya sarfi (450 kJ/mol) va past katalizator qayta ishlanishi bilan ekologik muammolarni keltirib chiqaradi.

➤ Mikroto'liqlik sintez usuli mahsulot chiqish foizini 91% ga yetkazib, reaksiya vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi va energiya sarfini 40% ga kamaytiradi.

➤ Ionik suyuqliklar ekologik toza erituvchi sifatida chiqindi miqdorini sezilarli darajada kamaytiradi (E -faktor = 2.9 g/mol) va katalizatorning qayta ishlatilish imkonini beradi.

➤ Suv fazasida kataliz yordamida 6 martagacha katalizatorni qayta ishlatish imkoni mavjud bo'lib, bu ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish bilan birga ekologik ta'sirni ham pasaytiradi.

Yashil kimyo tamoyillarini tatbiq etish natijasida kimyo sanoatida quyidagi ustunliklarga erishish mumkin:

➤ Chiqindilar miqdorining kamayishi va E -faktorning optimallashtirilishi, bu esa ekologik yuklamani pasaytiradi.

➤ Energiya samaradorligining oshishi, bu esa ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi va uglerod izini kichraytiradi.

➤ Barqaror va qayta ishlanadigan katalizatorlardan foydalanish, bu esa kimyo sanoatining ekologik barqarorligini oshirishga xizmat qiladi.

➤ Yuqori mahsulot chiqish foizi, bu esa iqtisodiy jihatdan foydalilikni oshiradi va xomashyo sarfini optimallashtiradi.

Kelajakda nano-katalizatorlar, biomimetik materiallar va hisoblash-kimyoviy usullarga asoslangan sintez texnologiyalarining rivojlantirilishi yashil kimyo tamoyillarini yanada kengroq qo'llashga imkon beradi. Shu sababli, ekologik toza kimyoviy sintez usullarini amaliyotga keng joriy etish – global miqyosda barqaror rivojlanish strategiyasining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

REFERENCES

1. Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press.
2. Clark, J. H., & Tavener, S. J. (2007). "Alternative Solvents: Shades of Green." *Green Chemistry*, 9(4), 328-328.
3. Sheldon, R. A. (2018). "Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future." *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(1), 32-48.
4. Poliakov, M., Fitzpatrick, J. M., Farren, T. R., & Anastas, P. T. (2002). "Green Chemistry: Science and Politics of Change." *Science*, 297(5582), 807-810.
5. Jessop, P. G. (2011). "Searching for Green Solvents." *Green Chemistry*, 13(6), 1391-1398.
6. Kerton, F. M. (2009). *Alternative Solvents for Green Chemistry*. Royal Society of Chemistry.

7. Horváth, I. T., & Anastas, P. T. (2007). "Innovations and Green Chemistry." *Chemical Reviews*, 107(6), 2169-2173.
8. Tundo, P., Perosa, A., & Zecchini, F. (2007). *Methods and Reagents for Green Chemistry: An Introduction*. Wiley.
9. Li, C.-J. (2005). "Organic Reactions in Water: Unique Reactivity of Organic Molecules in Aqueous Media." *Chemical Reviews*, 105(8), 3095-3166.
10. Sheldon, R. A., & Woodley, J. M. (2018). "Role of Biocatalysis in Sustainable Chemistry." *Chemical Reviews*, 118(2), 801-838.
11. Trost, B. M. (1991). "The Atom Economy—A Search for Synthetic Efficiency." *Science*, 254(5037), 1471-1477.
12. Lancaster, M. (2016). *Green Chemistry: An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry.
13. Matlack, A. S. (2010). *Introduction to Green Chemistry*. CRC Press.
14. Wilson, K., & Clark, J. H. (2000). "Simple, Efficient and Environmentally Friendly Catalytic Oxidation of Alcohols Using Supported Catalysts." *Green Chemistry*, 2(1), 1-4.
15. American Chemical Society (ACS). (2022). "Green Chemistry and Engineering." ACS Publications.
16. O'G'Li U. B. X. et al. The effectiveness of using modern information and communication technologies (ICT) in chemistry education //Science and Education. – 2025. – Т. 6. – №. 2. – С. 350-363.
17. Amangeldievna J. A., Xayrullo o'g P. U., Shermatovich B. J. Integrated teaching of inorganic chemistry with modern information technologies in higher education institutions //FAN VA TA'LIM INTEGRATSIYASI (INTEGRATION OF SCIENCE AND EDUCATION). – 2024. – Т. 1. – №. 3. – С. 92-98.
18. Pardayev U. et al. THE EFFECTS OF ORGANIZING CHEMISTRY LESSONS BASED ON THE FINNISH EDUCATIONAL SYSTEM IN GENERAL SCHOOLS OF UZBEKISTAN //Journal of universal science research. – 2024. – Т. 2. – №. 4. – С. 70-74.
19. Тилябов М. НАУЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К МЕЖДУНАРОДНОМУ ОЦЕНОЧНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ //Предпринимательства и педагогика. – 2024. – Т. 5. – №. 2. – С. 108-120.
20. Бобожонов Ж. Ш. и др. РАСТВОРИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ В ВОДНЫХ СИСТЕМАХ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ЭТАНОЛА С КАРБАМИДОЙ И ФОСФАТ МОЧЕВИНОЙ //Евразийский Союз Ученых. – 2020. – №. 8-5 (77). – С. 61-64.
21. Жиемуратова А. А. ОЦЕНКА ВАЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИКТ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ //Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali. – 2024. – Т. 2. – №. 58. – С. 445-449.
22. Amangeldievna J. A. et al. THE ROLE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN CHEMICAL EDUCATION //International journal of scientific researchers (IJSR) INDEXING. – 2024. – Т. 5. – №. 1. – С. 711-716.

23. БОБОЖОНОВ Ж. Ш. и др. ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ СИСТЕМЫ $\text{CH}_3\text{COOH-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ //Uzbek Chemical Journal/O'zbekiston Kimyo Jurnal. – 2022. – №. 3.
24. Xayrullo o'g P. U. et al. Using natural plant extracts as acid-base indicators and pKa value calculation method //fan va ta'lim integratsiyasi (integration of science and education). – 2024. – Т. 1. – №. 3. – С. 80-85.
25. Choriqulova D. et al. THE ROLE OF THE METHOD OF TEACHING CHEMISTRY TO STUDENTS USING THE "ASSESSMENT" METHOD //Modern Science and Research. – 2024. – Т. 3. – №. 11. – С. 256-264.
26. Narzullayev M. et al. THE METHOD OF ORGANIZING CHEMISTRY LESSONS USING THE CASE STUDY METHOD //Modern Science and Research. – 2024. – Т. 3. – №. 5. – С. 119-123.
27. Бобожонов Ж. Ш. и др. Изучение растворимости системы $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$ –[90% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ + 10% $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{ClN}_4$]– H_2O //Журнал неорганической химии. – 2021. – Т. 66. – №. 7. – С. 921-924.
28. Xolmirzayev M. M. Muammoli ta'lim texnologiyalarining kimyo fanini o'qitishda qo'llash //Science and Education. – 2024. – Т. 5. – №. 12. – С. 246-257.
29. Бобожонов Ж. Ш., Шукуров Ж. С., Тогашаров А. С. Растворимость системы тетракарбамидохлората кальция-ацетат аммония-вода //Universum: технические науки. – 2022. – №. 4-8 (97). – С. 30-33.
30. Abdukarimova M., Xolmirzayev M. KIMYO FANINI O'QITISHDA NOSTANDART TESTLARDAN FOYDALANISHNING AHAMIYATI //Modern Science and Research. – 2025. – Т. 4. – №. 1. – С. 12-20.
31. Эргашев Э. Ю., Латипова Ё. Л. К., Хамрокулова Ф. Р. К. ФОРМИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПО МЕТОДИКЕ «INSERT» ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ТЕМЫ «ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ» //Universum: психология и образование. – 2025. – Т. 1. – №. 1 (127). – С. 64-68.
32. Akramovna T. M. THE ROLE OF NON-STANDARD EXPERIMENTS IN IMPROVING THE COMPETENCE OF CHEMISTRY TEACHERS //Web of Teachers: Inderscience Research. – 2024. – Т. 2. – №. 12. – С. 44-46.
33. Bobozhonov Z. S. et al. Study of Solubility of $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$ –[90% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ + 10% $\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{ClN}_4$]– H_2O System //Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2021. – Т. 66. – С. 1031-1035.
34. Bobozhonov Z. S., Sidikov A. A. U., Shukurov S. Study of solubility of $\text{CH}_3\text{COOH-CO}(\text{NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ system //Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2023. – Т. 58. – №. 2. – С. 310-317.
35. Ravshanov M., Xudoyberdiyev B. TEACHING CHEMISTRY BASED ON DISTANCE EDUCATION TECHNOLOGIES (SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS TEACHING METHODS) //Modern Science and Research. – 2024. – Т. 3. – №. 6.