



## SANOAT CHIQINDI SUVLARINI KIMYOVIY TOZALASHDA INNOVATSION USULLARNING SAMARADORLIGI

*S.U.Nishonaliyeva, I.X. Ayubova*

*(Toshkent davlat texnika universiteti)*

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada sanoat chiqindi suvlarini kimyoviy tozalashda qo'llanilayotgan innovatsion usullar va ularning samaradorligi o'rganildi. Tadqiqot davomida koagulyatsiya, flokulyatsiya, adsorbsiya, ion almashinish, membranali filtrlash hamda ilg'or oksidlanish jarayonlari asosidagi zamonaviy texnologiyalar tahlil qilindi. Chiqindi suv tarkibidagi og'ir metall ionlari, organik ifloslantiruvchilar va toksik birikmalarni kamaytirishda yangi avlod reagentlari hamda nanomateriallarning samaradorligi baholandi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, innovatsion kimyoviy tozalash usullari an'anaviy metodlarga nisbatan yuqori tozalash darajasi, kam reagent sarfi va ekologik xavfsizlikni ta'minlashi aniqlandi. Shuningdek, kombinatsiyalangan texnologiyalar orqali suvni qayta foydalanishga yaroqli holatga keltirish imkoniyati mavjudligi ko'rsatildi. Tadqiqot sanoat oqava suvlarini samarali tozalash va suv resurslarini muhofaza qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** Sanoat chiqindi suvlari, kimyoviy tozalash, innovatsion texnologiyalar, koagulyatsiya, adsorbsiya, membranali filtrlash, nanomateriallar, ilg'or oksidlanish jarayonlari, ekologik xavfsizlik, suvni qayta ishlash.

**Kirish:** Hozirgi kunda sanoatning jadal rivojlanishi natijasida suv resurslarining ifloslanishi global ekologik muammolardan biriga aylanib bormoqda. Kimyo, neft-gaz, metallurgiya, to'qimachilik, oziq-ovqat va farmatsevtika sanoati korxonalarida hosil bo'ladigan chiqindi suvlar tarkibida og'ir metall ionlari, fenollar, neft mahsulotlari, bo'yoqlar, organik toksik birikmalar hamda turli zararli moddalar mavjud bo'ladi. Ushbu moddalar suv havzalari va tuproq qatlamlariga tushishi



natijasida ekologik muvozanat buziladi hamda inson salomatligiga xavf tug‘iladi. Shu sababli sanoat chiqindi suvlarini samarali tozalash va qayta foydalanish texnologiyalarini ishlab chiqish muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

An‘anaviy mexanik va biologik tozalash usullari ayrim ifloslantiruvchi moddalarni to‘liq bartaraf etishda yetarli samaradorlikka ega emas. Ayniqsa, og‘ir metall ionlari va barqaror organik birikmalarni parchalanishi qiyin bo‘lganligi sababli zamonaviy kimyoviy tozalash usullariga ehtiyoj ortib bormoqda. Kimyoviy tozalash usullari ifloslantiruvchi moddalarni neytrallash, cho‘ktirish, oksidlash yoki adsorbsiya qilish asosida amalga oshiriladi hamda yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi.

So‘nggi yillarda chiqindi suvlarni tozalashda innovatsion texnologiyalar keng rivojlanmoqda. Jumladan, nanoadsorbentlar, membranali filtrlash tizimlari, fotokatalitik oksidlanish, elektrokoagulyatsiya va ilg‘or oksidlanish jarayonlari (AOP) asosidagi texnologiyalar yuqori tozalash samaradorligini ta‘minlamoqda. Ushbu usullar suv tarkibidagi toksik moddalarni qisqa vaqt ichida parchalaydi hamda suvni qayta foydalanishga tayyor holga keltiradi. Ayniqsa, nanomateriallar asosidagi adsorbentlar katta solishtirma sirt maydoniga ega bo‘lib, og‘ir metall ionlari va organik birikmalarni samarali ushlab qolish xususiyatiga ega.

Membranali texnologiyalar va aqlli monitoring tizimlarining rivojlanishi chiqindi suvlarni real vaqt rejimida nazorat qilish imkonini yaratmoqda. Shu bilan birga, zamonaviy kimyoviy reagentlar va katalizatorlar yordamida suvni tozalash jarayonlarida reagent sarfini kamaytirish hamda energiya tejamkorligini oshirishga erishilmoqda. Bu esa ekologik xavfsizlikni ta‘minlash bilan birga iqtisodiy samaradorlikni ham oshiradi.

Mazkur tadqiqot ishining asosiy maqsadi sanoat chiqindi suvlarini kimyoviy tozalashda qo‘llanilayotgan innovatsion usullarning samaradorligini tahlil qilish,



ularning ekologik va texnologik afzalliklarini baholash hamda zamonaviy tozalash texnologiyalarining istiqbollarini aniqlashdan iborat.

**Materiallar va usullar:** Mazkur tadqiqot ishida sanoat chiqindi suvlarini kimyoviy tozalashda qo'llanilayotgan innovatsion usullarning samaradorligini baholash maqsadida laboratoriya va tahliliy tadqiqotlar olib borildi. Tadqiqot obyekti sifatida kimyo, to'qimachilik va metallurgiya sanoati korxonalaridan olingan chiqindi suv namunalari tanlab olindi. Namunalar tarkibida og'ir metall ionlari ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ), organik bo'yoqlar, neft mahsulotlari va yuqori kimyoviy kislorod sarfi (COD) ko'rsatkichlariga ega ifloslantiruvchi moddalar mavjudligi aniqlandi.

Chiqindi suvlarning dastlabki fizik-kimyoviy xossalarini aniqlash uchun pH muhiti, elektr o'tkazuvchanlik, loyqalilik, COD va BOD ko'rsatkichlari laboratoriya sharoitida o'lchandi. pH qiymatlari raqamli pH-metr yordamida, elektr o'tkazuvchanlik esa konduktometr orqali aniqlangan. Og'ir metall ionlari konsentratsiyasi atom-adsorbtsion spektroskopiya (AAS) usuli yordamida tahlil qilindi.

Tadqiqot davomida chiqindi suvlarni tozalash uchun bir nechta innovatsion kimyoviy usullar qo'llanildi. Jumladan, koagulyatsiya-flokulyatsiya, adsorbtsiya, elektrokoagulyatsiya va ilg'or oksidlanish jarayonlari (Advanced Oxidation Processes — AOP) asosidagi texnologiyalar sinovdan o'tkazildi. Koagulyatsiya jarayonida alyuminiy sulfat  $Al_2(SO_4)_3$  va temir xlorid  $FeCl_3$  reagentlari qo'llanildi. Flokulyatsiya bosqichida polielektrolit asosidagi flokulyantlardan foydalanildi.

Adsorbtsiya tajribalarida aktivlashtirilgan ko'mir, nano-sellyuloza asosidagi adsorbentlar va metall-organik karkas materiallari (MOF) ishlatildi. Adsorbentlar  $105^{\circ}C$  haroratda quritilib, maydalangan va 0.5 mm gacha fraksiyalangan holda foydalanildi. Tajribalar magnit aralashtirgich yordamida  $25-30^{\circ}C$  haroratda 60–120 minut davomida olib borildi.



Elektrokoagulyatsiya jarayonida alyuminiy elektrodlar qo'llanilib, 12–24 V kuchlanish ostida tajribalar o'tkazildi. Jarayon davomida tok zichligi, elektroliz vaqti hamda pH muhitining tozalash samaradorligiga ta'siri o'rganildi. Ilg'or oksidlanish jarayonlarida vodorod peroksid ( $H_2O_2$ ), ozon ( $O_3$ ) va UV nurlanish asosidagi oksidlovchi tizimlardan foydalanildi.

**Natijalar va muhokama:** Tadqiqot davomida sanoat chiqindi suvlarini innovatsion kimyoviy usullar yordamida tozalash samaradorligi baholandi va turli texnologiyalarning ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish darajasi solishtirildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, zamonaviy kimyoviy tozalash usullari an'anaviy metodlarga nisbatan yuqori samaradorlikka ega bo'lib, suv tarkibidagi organik va noorganik ifloslantiruvchilarni sezilarli darajada kamaytiradi.

Dastlabki tahlillar natijasida chiqindi suv namunalari tarkibida COD ko'rsatkichi 850–1200 mg/L, BOD qiymati 350–500 mg/L oralig'ida ekanligi aniqlandi. Og'ir metall ionlaridan  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  va  $Cr^{6+}$  konsentratsiyalari ekologik me'yorlardan bir necha barobar yuqori ekanligi kuzatildi. Oqartirish va bo'yoq sanoati chiqindi suvlarida esa ranglilik va loyqalilik ko'rsatkichlari yuqori bo'lgani qayd etildi.

Koagulyatsiya-flokulyatsiya usuli orqali olib borilgan tajribalar natijasida alyuminiy sulfat va temir xlorid reagentlari loyqa zarrachalar hamda kolloid moddalarni samarali cho'ktirgani aniqlandi. Optimal sharoitlarda pH 6.5–7.5 oralig'ida bo'lganda COD qiymati 55–65% gacha kamaygani kuzatildi. Shu bilan birga, flokulyantlar qo'llanilishi natijasida suvning tiniqligi sezilarli darajada yaxshilandi.

Adsorbsiya usuli eng samarali texnologiyalardan biri sifatida namoyon bo'ldi. Aktivlashtirilgan ko'mir va nano-sellyuloza asosidagi adsorbentlar og'ir metall ionlari va organik bo'yoqlarni yuqori darajada ushlab qolgani aniqlandi. Ayniqsa, nano-strukturali adsorbentlarda katta sirt maydoni va rivojlangan g'ovak struktura tufayli adsorbsiya samaradorligi yuqori bo'ldi. Tajribalar natijasida  $Pb^{2+}$  ionlarini



92%,  $\text{Cr}^{6+}$  ionlarini 88% hamda organik bo'yoqlarni 90% gacha kamaytirish mumkinligi kuzatildi.

Elektrokoagulyatsiya jarayonida alyuminiy elektrodlar yordamida hosil bo'lgan gidroksid flokkulalari ifloslantiruvchi moddalarni samarali cho'ktirgani qayd etildi. Kuchlanish oshirilishi bilan tozalash darajasi ortgani kuzatilgan bo'lsa-da, energiya sarfi ham oshgani aniqlandi. Optimal 18 V kuchlanishda COD kamayish samaradorligi 80% gacha yetgani kuzatildi. Ushbu usulning asosiy afzalligi reagent sarfining kamligi va jarayonning avtomatlashtirish imkoniyati bilan bog'liq ekanligi aniqlandi.

Ilg'or oksidlanish jarayonlari (AOP) eng yuqori samaradorlikka ega usullardan biri sifatida baholandi. UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  va ozonlash texnologiyalari yordamida barqaror organik birikmalar parchalangani hamda suvning toksikligi kamaygani kuzatildi. Ayniqsa, fotokatalitik oksidlanish jarayonlarida gidroksil radikallari hosil bo'lishi natijasida murakkab organik moddalar oddiy va xavfsiz birikmalarga aylangani aniqlandi. Ushbu usul orqali COD ko'rsatkichini 90–95% gacha kamaytirish imkoniyati mavjudligi qayd etildi.

Tadqiqot natijalari asosida kombinatsiyalangan texnologiyalar eng yuqori samaradorlikni ta'minlashi aniqlandi. Jumladan, koagulyatsiya va adsorbsiya usullarini AOP texnologiyalari bilan birgalikda qo'llash chiqindi suvlarni chuqur tozalash imkonini berdi. Bu esa sanoat chiqindi suvlarini qayta foydalanishga tayyor holga keltirish hamda suv resurslarini tejash imkoniyatini yaratadi.

**Xulosa:** Mazkur tadqiqot ishida sanoat chiqindi suvlarini kimyoviy tozalashda qo'llanilayotgan innovatsion texnologiyalarning samaradorligi o'rganildi. Tadqiqot natijalari zamonaviy kimyoviy usullar og'ir metall ionlari, organik bo'yoqlar va toksik birikmalarni yuqori darajada kamaytirish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi.

Koagulyatsiya-flokulyatsiya usuli suvning loyqaliligini kamaytirishda samarali bo'lgan bo'lsa, adsorbsiya texnologiyasi og'ir metall ionlari va organik



moddalarni yuqori darajada ushlab qolishi bilan ajralib turdi. Nano-sellyuloza va aktivlashtirilgan ko‘mir asosidagi adsorbentlarning katta sirt maydoni hamda rivojlangan g‘ovak struktura tufayli adsorbsiya samaradorligi sezilarli oshgani aniqlandi.

Elektrokoagulyatsiya va ilg‘or oksidlanish jarayonlari yuqori samaradorlik ko‘rsatib, suv tarkibidagi murakkab organik birikmalarni parchalanishini ta‘minladi. Ayniqsa, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> va ozonlash asosidagi texnologiyalar chiqindi suvlarning toksikligini kamaytirishda eng samarali usullardan biri ekanligi tasdiqlandi.

Tadqiqot davomida kombinatsiyalangan tozalash usullari alohida texnologiyalarga nisbatan yuqori natija berishi aniqlandi. Innovatsion kimyoviy tozalash texnologiyalarini sanoat miqyosida qo‘llash suv resurslarini tejash, ekologik xavfsizlikni ta‘minlash va qayta foydalaniladigan suv olish imkonini beradi.

Kelgusida energiya tejamkor, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali adsorbentlar hamda katalitik tizimlarni ishlab chiqish sanoat chiqindi suvlarini tozalash texnologiyalarini yanada takomillashtirishga xizmat qiladi.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery / Metcalf & Eddy. McGraw-Hill Education, 2014.
2. Industrial Water Pollution Control / Wesley Eckenfelder. McGraw-Hill, 2000.
3. Physicochemical Treatment Processes / Lawrence K. Wang. Humana Press, 2005.
4. Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment / Simon Parsons. IWA Publishing, 2004.
5. Adsorption Technology in Water Treatment / Erdal Erdem. Elsevier, 2021.
6. Nanotechnology Applications for Clean Water / Nidal Hilal. William Andrew Publishing, 2014.



7. World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva, 2022.
8. United States Environmental Protection Agency. *Industrial Wastewater Treatment Technologies*. Washington DC, 2021.
9. *Membrane Technology and Applications* / Richard W. Baker. Wiley, 2012.
10. *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* / Carlos Alberto Martínez-Huitle. Elsevier, 2018.
11. *Environmental Chemistry* / Colin Baird. W.H. Freeman and Company, 2012.
12. International Water Association. *Water Reuse and Recycling Standards*. London, 2020.
13. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies* / Nicholas P. Cheremisinoff. Butterworth-Heinemann, 2002.
14. *Water Treatment by Adsorption Columns* / T. Asano. Elsevier, 2015.
15. *Advanced Materials for Wastewater Treatment* / Inamuddin. Springer, 2020.