ARALASH KOAGULYANTLARINING OQOVA SUV TARKIBIDAGI MUALLAQ ZARRACHALAR MIQDORI VA RANGDORLIKNI KAMAYTIRISH SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Shirinov G‘ayratjon Qodirjonovich
Buxoro davlat universiteti Kimyo va neft-gaz texnologiyalari kafedrasi dotsenti,
E-mail: g‘.q.shirinov@buxdu.uz
Nazarov Sayfulla Ibodulloyevich
Buxoro davlat universiteti “Kimyo va neft-gaz texnologiyalari” kafedrasi professori,
E-mail:s.i.nazarov@buxdu.uz.

Annotatsiya: ushbu tadqiqotda turli koagulyantlarning, ayniqsa polialyuminiy xlorid (PAX) va politemir(III) xlorid (PTX) aralashmasining suvni tozalashdagi samaradorligi o‘rganildi. Asosiy e’tibor suvdagi muallaq zarrachalar va rangdorlikni kamaytirishga qaratildi. Tajribalarda har bir koagulyant 90 mg/l miqdorida qo‘llanib, cho‘kma hosil bo‘lish tezligi va koagulyatsiyadan keyingi suvning qoldiq rangdorligi tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, PAX va PTX ni aralashtirib qo‘llash alohida ishlatishdan ko‘ra samaraliroq bo‘lib, cho‘kma tezroq hosil bo‘ldi va to‘liq cho‘kish uchun kerak bo‘lgan vaqt sezilarli darajada qisqardi. Bundan tashqari, fotometrik tahlillar suvdagi rangdorlik darajasining ancha kamayganini ko‘rsatdi. Bu esa, PAX/PTX aralashmasi suvni optik jihatdan ham yaxshiroq tozalashga qodir ekanligini tasdiqlaydi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni anglatadiki, an’anaviy alyuminiy sulfat o‘rniga PAX va PTX aralashmasidan foydalanish suvni oqartirishda yanada samarali bo‘lishi mumkin. Ushbu yondashuv sanoat korxonalarining chiqindi suvlarini tozalash jarayonlarida amaliy qo‘llanilishi uchun istiqbolli yechim hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: koagulyatsiya, polialyuminiy xlorid (PAX), politemir(III) xlorid (PTX), aralash koagulyant, cho‘kma tezligi, suvning rangdorligi, fotometrik usul, oqova suvlarni tozalash.

Annotation: this study investigated the effectiveness of various coagulants, particularly a mixture of polyaluminium chloride (PAX) and polytemir(III) chloride (PTX), in water purification. The main focus was on reducing suspended particles and coloration in the water. In experiments, each coagulant was applied at a rate of 90 mg/l to analyze the rate of sediment formation and the residual colouration of the water after coagulation. The results obtained showed that mixing PAX and PTX was more effective than using it separately, resulting in a faster deposition, and the time needed to fully sink was significantly reduced. In addition, photometric analysis has shown a much reduced level of colorfulness in the water. This confirms that the PAX/PTX mixture is able to purify water even better optically. In general, the results of the study suggest that using a mixture of PAX

ISSN 3030-3907

and PTX instead of conventional aluminum sulfate can be more effective at bleaching water. This approach is a promising solution for practical application in wastewater treatment processes of industrial enterprises.

Keywords: coagulation, polyaluminium chloride (PAX), polytemir(III) chloride (PTX), mixed coagulant, deposition rate, water colouration, photometric method, effluent treatment.

Аннотация: В этом исследовании изучалась эффективность различных коагулянтов, особенно смеси хлорида полиалюминия (PAX) и хлорида политемира(III) (PTX) при очистке воды. Основное внимание уделялось уменьшению взвешенных частиц и цвета в воде. В экспериментах каждый коагулянт вводили в количестве 90 мг/л, анализируя скорость осаждения и остаточную окраску воды после коагуляции. Результаты показали, что смешанное нанесение PAX и PTX было более эффективным, чем использование по отдельности, что привело к более быстрому образованию осадка и значительно сокращению времени, необходимого для полного осаждения. Кроме того, фотометрический анализ показал значительное снижение уровня цветопередачи в воде. Это подтверждает, что смесь PAX / PTX способна оптически очищать воду даже лучше. В целом, результаты исследования предполагают, что использование смеси PAX и PTX вместо традиционного сульфата алюминия может быть более эффективным при отбеливании воды. Такой подход является перспективным решением для практического применения в процессах очистки сточных вод промышленных предприятий.

Ключевые слова: коагуляция, хлорид полиалюминия (PAX), хлорид политемира(III) (PTX), смешанный коагулянт, скорость осаждения, цвет воды, фотометрический метод, очистка сточных вод.

Kirish

So‘nggi yillarda chiqindi suvlarni tozalashda koagulyatsiya va flokulyatsiya jarayonlarini samarali bajarish uchun turli xil koagulyantlardan foydalanishga bo‘lgan qiziqish oshmoqda [1–3]. Bu jarayonlar chiqindi suvlarni tozalash va ularni qayta ishlatishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, atrof-muhitni asrash va ichimlik suvi resurslarini tejashga xizmat qiladi. Tozalash ishlari oddiy mexanik usullardan tortib, biologik va kimyoviy usullargacha bo‘lgan bir qancha bosqichlarni o‘z ichiga oladi. To‘g‘ri usulni tanlash esa chiqindi suvning tarkibi, kerakli tozalash darajasi hamda mavjud texnik va moliyaviy resurslarga bog‘liq bo‘ladi.

Turli xil koagulyantlarni birgalikda ishlatish, ularni alohida qo‘llagandan ko‘ra samaraliroq bo‘lishi mumkin [2,4]. Bunday yondashuv ifloslantiruvchi moddalarni tozalashda kuchli sinergiya — ya'ni kuchaytiruvchi ta’sir — beradi. Masalan, xitindan olingan tabiiy koagulyant (xitin) polialuminiy xlorid bilan

ISSN 3030-3907

qo‘shib ishlatilganda, aluminiy miqdorini kamaytirishga yordam beradi, lekin tozalash sifati saqlanib qoladi. Shahar chiqindi suvlarini tozalash bo‘yicha o‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatadiki, masalan, alyuminiy sulfat va kaltsiy gidroksidi kabi aralash koagulyantlar umumiy ifloslik va biologik kislorod talabini (BKO) samarali tarzda kamaytiradi. Bu esa, bitta koagulyantdan foydalanilganda yuzaga keladigan kamchiliklar — masalan, pH darajasiga sezgirlik yoki cho‘kma hosil bo‘lish muammolarini kamaytirishga yordam beradi.

Shuningdek, organik va noorganik koagulyantlarni birgalikda ishlatish to‘qimachilik sanoatining chiqindi suvlarini tozalashda yaxshi natijalar bergan [2]. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, tanlangan koagulyant turi va chiqindi suvning xususiyatlari tozalash samaradorligiga katta ta’sir ko‘rsatadi. Aralash koagulyant tizimlarini optimallashtirish esa, ularning nisbati, pH darajasi va aralashtirish shartlari kabi omillarni to‘g‘ri tanlash orqali amalga oshiriladi [4].

Sanoat chiqindilarini tozalash — atrof-muhit muhofazasidagi eng dolzarb masalalardan biridir. Neft-kimyo, metallurgiya, oziq-ovqat va kimyo sanoati kabi tarmoqlarda ko‘p miqdorda zararli moddalar aralashgan chiqindi suvlar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilarda og‘ir metallar, yog‘lar, bo‘yoqlar, organik moddalar va boshqa zararli kimyoviy moddalar mavjud bo‘lib, ular to‘liq tozalanmasa, inson salomatligi va ekologiyaga jiddiy xavf tug‘dirishi mumkin [1,3].

Chiqindi suvlarni yanada samarali tozalash uchun hozirgi kunda turli tarkibiy qismlarni - noorganik, organik va modifikatsiyalangan moddalarning birikmasini o‘z ichiga olgan aralash koagulyantlardan keng foydalanilmoqda [2,4]. Bu birikmalar birgalikda ishlaganda, tozalash sifati oshadi, reagent sarfi kamayadi va chiqindi suvdagi qolgan zararli moddalar miqdori sezilarli darajada kamayadi.

Bugungi kunda ishlab chiqilgan ilg‘or texnologiyalar aralash koagulyantlarning tarkibini ma’lum bir turdagi chiqindi suvga moslashtirish imkonini bermoqda. Bu esa ularni turli sanoat tarmoqlari — masalan, neft-kimyo, oziq-ovqat yoki metallurgiya - uchun qulay va universal yechimga aylantiradi [3,4].

Ilmiy maqolalar va patent hujjatlarida ko‘rsatilishicha, oxirgi yillarda oqova suvlarni alyuminiy sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) yordamida tozalash usuli Rossiya, Yevropa va AQSHda keng qo‘llanmoqda. Bu usul samaradorligi va xavfsizligi bilan ajralib turadi [1].

Gazni qayta ishlash zavodlarida oqova suvlarni tozalashda temir asosidagi koagulyantlardan foydalanishga oid bir qancha ilmiy izlanishlar mavjud. Bu ishlarda temirli koagulyantlar ijobiy natijalar bergani qayd etilgan, ammo tarkibida ko‘p miqdorda organik va noorganik moddalar bo‘lgan suvlarni tozalashda ba’zi muvaffaqiyatsizliklar ham kuzatilgan.

ISSN 3030-3907

Shunga qaramay, alyuminiyga asoslangan koagulyantlarning bir qismini temirli koagulyantlar bilan almashtirish orqali, ayniqsa noorganik moddalar mavjud bo‘lgan oqova suvlarni tozalash sohasini kengaytirish hamda alyuminiyli koagulyantlar sarfini kamaytirish mumkinligi aniqlangan.

Ushbu ishda gazni qayta ishlash korxonalarining chiqindi suvlarini aralash koagulyantlar yordamida tozalash jarayoni o‘rganilgan. Tadqiqotda ularning samaradorligi, afzalliklari va imkoniyatlari bilan birga, cheklovlari ham tahlil qilingan. Shuningdek, bunday koagulyantlarni boshqa sanoat sohalarida ham qo‘llash istiqbollari ko‘rib chiqilgan. O‘tkazilgan tajribalarda biz amalda keng qo‘llanilayotgan PAX (polialyuminiy xlorid) koagulyanti o‘rniga, PAX va PTX (temir tuzlari asosidagi koagulyant) aralashmasidan foydalanib ko‘rdik. Buning maqsadi- koagulyatsiya jarayonini yanada samaraliroq qilish va chiqindi suvlarni texnik suv darajasigacha tozalash edi.

2. Metodlar

2.1. Suvning rangdorligini fotometrik usul bilan aniqlash

Suvdagi rang darajasini aniq baholash uchun fotometrik usuldan foydalanildi. O‘lchovlar V-5100 Spektrofotometr yordamida amalga oshirildi. Ushbu asbob 325–1000 nm oralig‘idagi spektral diapazonda ishlaydi va uning spektral teshik kengligi 2 nm ni tashkil qiladi. Aynan shu usul orqali suv namunalarining rangdorligi aniqlab borildi.

2.2. Koagulyantlarning optimal dozasini aniqlash

Koagulyant miqdorini aniqlash uchun quyidagi tartibda tajriba o‘tkazildi: 5 ta probirkaga har biriga 40 ml sanoat chiqindi suvidan quyildi. Har bir probirkaga pipetka yordamida turli miqdorda koagulyant eritmasi qo‘shildi: 10, 20, 30, 40 va 50 mg/l. Koagulyant qo‘shilgandan so‘ng probirkalar yaxshilab aralashtirildi, 15 daqiqadan so‘ng har bir probirkadan shprits yordamida namunalar olinib, kyuvetlarga quyildi. Har bir namunadagi optik zichlik (ya’ni yorug‘likni o‘tkazish darajasi) distillangan suvga nisbatan aniqlandi. Shuningdek, boshlang‘ich chiqindi suvning ham optik zichligi alohida o‘lchandi. Tozalash samaradorligi quyidagi formula yordamida hisoblab chiqiladi:

$$E = \frac{D_0 - D}{D_0}$$

Bu yerda E – suvni tozalash samaradorligi, D_0 – dastlabki suvning optik zichligi, D – tozalangan suvning optik zichligi.

2.3. Oqova suvdagi muallaq moddalarning konsentratsiyasini aniqlash

Oqova suv tarkibidagi muallaq modda (ya’ni suvda erimagan zarrachalar) miqdorini aniqlash uchun quyidagi tartibda ish bajarildi: Avvalo, sanoat oqova suvi yaxshilab aralashtiriladi, so‘ngra 200 ml hajmda suv namunasi olindi.

ISSN 3030-3907

Ushbu namuna oldindan 105°C haroratda quritilgan va og‘irligi aniq o‘lchangan filtr qog‘oz orqali o‘tkazildi. Barcha suv filtrlab bo‘lingach, filtrda qolgan cho‘kma ozroq distillangan suv bilan yuvildi. Suv to‘liq oqib ketgach, cho‘kma va filtr qog‘oz chinni kosachaga o‘tkaziladi. Filtr qog‘oz va cho‘kma dastlab 40–50°C, keyin esa 110°C haroratda 1 soat davomida quritildi. Quritilgan namunali filtr tigel (issiqda turgan idish) bilan birga analitik tarozida tortildi. Doimiy massa (og‘irlik o‘zgarmay qolguncha) hosil bo‘lguncha filtr qog‘oz qayta-qayta quritilib, tortib borildi. Shundan so‘ng, olingan ma’lumotlar asosida sanoat oqova suvidagi muallaq moddalarning konsentratsiyasi (mg/l) quyidagi formula asosida hisoblab chiqildi:

$$C_{\text{вв}} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \cdot 1000$$

bu yerda: m_1 – cho‘kma bilan birga quritilgan filtrning og‘irligi (mg), m_2 – faqat quritilgan filtrning og‘irligi (mg), V – analiz uchun olingan suv hajmi (ml).

2.4. Koagulyant dozalari va ularning samaradorligini aniqlash

Tajribada 10, 20, 30, 40 va 50 mg/l miqdorlardagi koagulyant dozalari sinovdan o‘tkazildi. Qiziq tomoni shundaki, bu miqdorlar amaliyotda odatda ishlatiladigan 100–150 mg/l dozadan ancha kamdir. Har bir dozada PAX (polialyuminiy xlorid) va PTX (temir asosidagi koagulyant) dan tashkil topgan aralashmalar sinab ko‘rildi.

Shuningdek, ba’zi holatlarda chiqindi suvni tozalash jarayonida pH darajasining haddan pastga tushib ketishi yoki erigan temir va alyuminiy miqdorining ortib ketishi kabi holatlar kuzatildi. Bu kabi holatlar suv tashqi ko‘rinishda toza bo‘lsa-da, salbiy natijali tajriba sifatida baholandi.

Natijalar tahlili

Tadqiqot davomida bir qator muhim holatlar aniqlandi. Jumladan, alyuminiy sulfat o‘rniga PAX va PTX aralash koagulyantlaridan qisman yoki to‘liq foydalanish imkoniyati sinovdan o‘tkazildi. Koagulyatsiya jarayonidan so‘ng o‘lchangan suvning qoldiq rangdorligi natijalari 1-jadvalda keltirilgan. Ushbu jadval tahliliga ko‘ra, koagulyant miqdori kamaygan sari suvning rangdorligi biroz ortadi, ammo bu o‘zgarish belgilangan me’yorlardan oshmaydi.

Tadqiqotda, ayniqsa, PAX va PTX nisbatining muvozanatli aralashmasi — 50:50 yoki 25:75 tarzda qo‘llanganda — eng samarali natijalar kuzatilgan. Bunday kombinatsiyalar suvdagi rangdorlikni kamaytirishda ancha muvaffaqiyatli bo‘lgan. Bundan tashqari, koagulyatsiya jarayonidan so‘ng suvdagi organik va noorganik ifloslantiruvchi moddalarning miqdori ham tahlil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, PAX/PTX aralashmasi yordamida suvdagi zararli moddalar 90–95% gacha samarali tarzda yo‘qotilgan.

ISSN 3030-3907

1-jadval.

PAX va PTX dan iborat aralash koagulyant qo‘llanilgandan keyin suvning qoldiq rangdorligi. Dastlabki rangdorlik 219°

PAX:PTX massa nisbati (100 gramm)	Qoldiq rangdorlik, koagulyantning quyidagi dozalarida		
	90 mg/l	60 mg/l	40 mg/l
100:0	11,4	15,6	19,3
75:25	18,4	17,5	17,6
50:50	9,6	18,6	18,3
25:75	11,1	-	-
0:100	11,4	17,3	19,1

Cho‘kma hosil bo‘lish vaqtining koagulyantlar aralashmasi tarkibiga bog‘liqligi 2-jadvalada berilgan.

2-jadval.

Cho‘kma hosil bo‘lish vaqtining temir-alyuminiyli aralash koagulyant tarkibiga bog‘liqligi. Koagulyant dozasi 90 mg/l

PAX:PTX massa nisbati (%)	Cho‘kma hosil bo‘lishi vaqti	Izoh
100:0	5 min	20 minutda yiriklashmaydigan mayda zarracha
75:25	2 min	Zarrachalar yiriklashadi, sidemantatsiya kuzatiladi
50:50	4 min	Zarrachalar agregatlar hosil qilib tezda cho‘kadi
25:75	8 min	Yirik zarracha hosil bo‘ladi,sekin cho‘kadi
0:100	10 min	Mayda zarracha 30 minut ichida cho‘kmaydi

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, PAX va PTX aralashmasining 50:50 dan 25:75 gacha bo‘lgan nisbatlari qo‘llanilganda cho‘kma hosil bo‘lish tezligi ancha oshadi. Bu degani, koagulyatsiya jarayonida yirik zarrachalar (agregatlar) tezroq hosil bo‘ladi va ular suvdan osonroq ajraladi. Tozalash samaradorligi saqlanib qolgan holda, cho‘kmalar tezroq hosil bo‘ladi. Bu holat, albatta, amaliy jihatdan katta foyda keltiradi, chunki bu orqali tozalash jarayoni samarador va tez bo‘ladi, vaqt va resurslar tejaladi.

ISSN 3030-3907

3-jadval

PAX ва PTX aralash koagulyantlarining massa nisbati, koagulyant miqdori va choʻkma hosil boʻlish tezligi oʻrtasidagi bogʻliqlik

PAX:PTX massa nisbati	Sidemantatsiyalanishi vaqti (minut)	Koagulyant miqdori (mg/l)
100:0	60	60
75:25	40	60
50:50	80	60
25:75	120	60
0:100	180	60

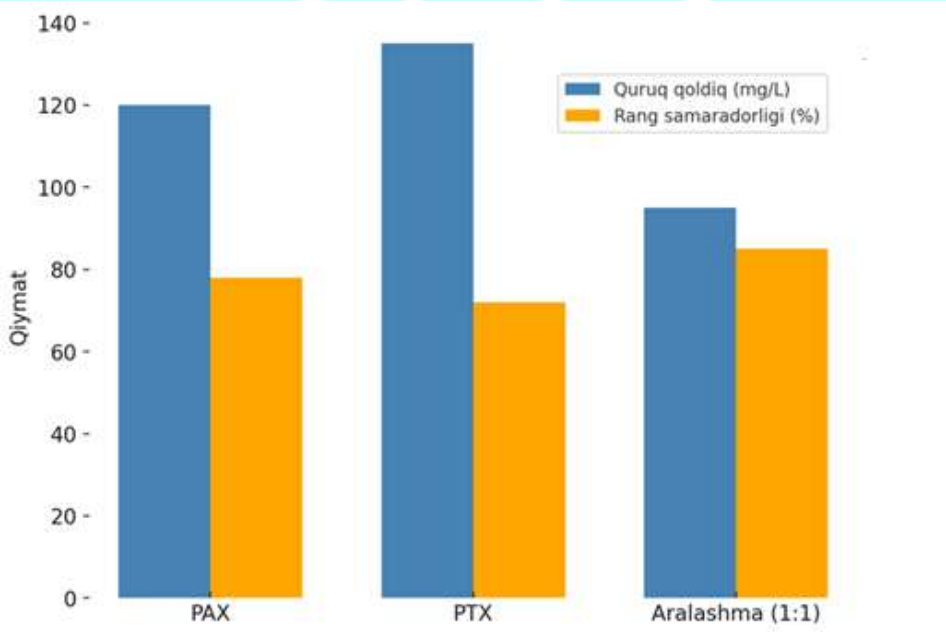
3-jadvalda koagulyant tarkibining yirik zarrachalarning (agregatlarning) suv tubiga choʻkishi (sedimentatsiyasi)ga qanday ta'sir qilgani koʻrsatilgan. Ma'lumotlar shuni koʻrsatadiki, PAX va PTX ni aralashtirib qoʻllash choʻkma hosil boʻlish jarayonini tezlashtiradi. Bu esa koagulyatsiya jarayonining umumiy tezligi va samaradorligini oshiradi. Koagulyantlar dozasi 60 mg/l ga tushirilganda ham choʻkma hosil boʻlishi tezlashadi, lekin uning samaradorligi 90 mg/l ga nisbatan pastroq boʻladi.

Koagulyantlar dozasining 40 mg/l gacha kamaytirilishi, bizning ma'lumotlarga koʻra, choʻkma hosil boʻlishining tezligini yanada kamaytiradi. Ehtimol, ushbu jarayon suvning yuqori qattiqligida yoki xlor miqdori yuqori boʻlgan suvlarda oʻrganilganida natija boshqa koʻrinishga ega boʻlar edi.

Koagulyantlarning 60 va 40 mg/l dozalari bilan choʻkma hosil qilish va sedimentatsiya boʻyicha olingan ma'lumotlar tahlili shuni koʻrsatdiki, bunday past dozalardan foydalanilganda aralash koagulyantlarning qoʻllanilishi koagulyatsiya jarayonini tezlashtirmaydi va shu sababli amaliy ahamiyatga ega boʻlmaydi.

Quyidagi grafikda PAX, PTX va ularning 1:1 aralashmasining oqova suvdagi quruq qoldiq va rang samaradorligini kamaytirishdagi taqqosiy natijalari keltirilgan. Grafik ma'lumotlari shuni koʻrsatadiki, aralash koagulyant alohida qoʻllangan koagulyantlarga nisbatan yuqori samaradorlik namoyon etgan.

ISSN 3030-3907

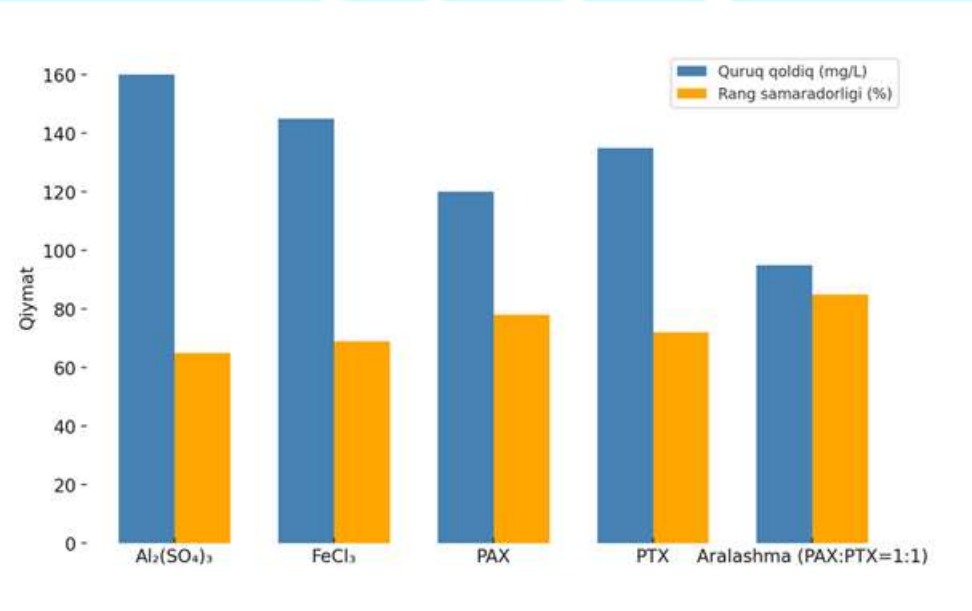


2-rasm. PAX va PTX aralash koagulyantlarining oqova suvdagi quruq qoldiq miqdori va rang samaradorligiga ta’siri

2-rasmda PAX, PTX va ularning 1:1 nisbatdagi aralashmasi qo‘llanilganda oqova suvda hosil bo‘lgan quruq qoldiq miqdori va rangdorlikning kamayish darajalari taqqoslab ko‘rsatilgan. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, PAX yolg‘iz holda suvning rangini tezroq kamaytiradi, PTX esa organik moddalarga ta’sirchanligi bilan ajralib turadi. Biroq, aralash koagulyant (PAX–PTX) eng yuqori samaradorlikni namoyon etgan: quruq qoldiq miqdori kamaygan va rangdorlik 85% gacha bartaraf etilgan. Bu holat aralash koagulyantlarning sinergetik ta’siri mavjudligini ko‘rsatadi

Olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida an’anaviy va aralash koagulyantlarning samaradorligi o‘rganildi. Quyidagi grafikda an’anaviy koagulyantlar (alyuminiy sulfat va temir(III) xlorid) hamda zamonaviy koagulyantlar (PAX, PTX va ularning aralashmasi) qo‘llanilganda oqova suv tarkibidagi quruq qoldiq miqdori va rang samaradorligi taqqoslab ko‘rsatilgan.

ISSN 3030-3907



3-rasm. An'anaviy koagulyantlar ($Al_2(SO_4)_3$ va $FeCl_3$) hamda zamonaviy PAX, PTX va ularning aralashmasining oqova suv tarkibidagi quruq qoldiq va rang samaradorligiga ta'siri.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, an'anaviy koagulyantlar quruq qoldiq va rangni kamaytirishda ma'lum samaradorlik ko'rsatgan bo'lsa-da, PAX va PTX ularni sezilarli darajada oshiradi. Eng yuqori samaradorlik PAX–PTX aralashmasida kuzatilib, quruq qoldiq minimal qiymatga tushgan va rangdorlik 85% gacha kamaygan. Bu esa aralash koagulyantlarning sinergiya effekti mavjudligini ko'rsatadi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, oqova suvlarni tozalashda PAX va PTX kabi aralash koagulyantlardan foydalanish an'anaviy usullarga qaraganda samaraliroqdir. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, bu kombinatsiya suvdagi muallaq zarrachalarni sezilarli darajada kamaytiradi. Ayniqsa, cho'kma hosil bo'lishi tezlashib, suvning loyqalik darajasi 85% gacha kamayadi.

PAX va PTX aralashmasi alohida ishlatilgandagi natijalardan ko'ra samaraliroq bo'lib, suvning optik (ko'rinish) xususiyatlari ham ancha yaxshilangan. PAX tez va ixcham floklar (mayda zarrachalar guruhi) hosil qilsa, PTX organik ifloslantiruvchilarga kuchliroq ta'sir ko'rsatgan. Ularning birgalikda qo'llanilishi sinergetik effekt berib, barqaror cho'kma hosil qilishga va yuqori darajada tozalashga erishishga yordam beradi.

Shuningdek, bu aralashma nafaqat suv sifatini yaxshilaydi, balki kimyoviy moddalar (reagentlar) sarfini kamaytiradi va hosil bo'ladigan cho'kma hajmini ham optimallashtiradi. PAX–PTX aralash koagulyantlari oqova suvlarni tozalashda samarali, iqtisodiy jihatdan tejamli va ekologik nuqtai nazardan qulay yechimdir.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Linghu W. S., Sun C. Y. Pretreatment of Wastewater Using a Combined Coagulation and Fenton Oxidation Process // Advanced Materials Research. – 2014. – T. 1049. – C. 154-157.
2. Verma A. K., Bhunia P., Dash R. R. Reclamation of wastewater using composite coagulants: A sustainable solution to the textile industries // Chemical Engineering Transactions. – AIDIC, 2014. – C. 175-180.
3. Ismail I. M. et al. Combined coagulation flocculation pre-treatment unit for municipal wastewater // Journal of Advanced Research. – 2012. – T. 3. – №. 4. – C. 331-336.
4. Joaquin A. A., Sivamani S., Gnanasundaram N. Statistical experimental design and analysis of mixed natural-synthetic coagulants for the reduction of total suspended solids and turbidity in sewage wastewater treatment // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2024. – T. 14. – №. 4. – C. 4583-4590.

ISSN 3030-3907