ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

KO‘P KOMPONENTLI SUVLI ARALASHMALARDAGI ORGANIK BO‘YOQLARNI ANALIZ QILISHNING ZAMONAVIY USULLARI

Boboqulova M.B.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti tayanch magistranti
Tashpulatov X.Sh.
Sh.Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti dotsenti, DSc

Annotatsiya. Ushbu maqolada ko‘p komponentli tizimlarda, xususan sanoat oqava suvlarida uchraydigan organik bo‘yoq aralashmalarini aniqlash va miqdoriy tahlil qilishning zamonaviy instrumental hamda matematik usullari ko‘rib chiqildi. Adsorbsion modellar, UV–Vis spektrofotometriya, asosiy komponentlar regressiyasi (PCR), qisman eng kichik kvadratlar (PLS) va sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) kabi yondashuvlarning afzalliklari va cheklovlari ilmiy manbalar asosida qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ko‘p komponentli aralashmalarda spektral ustma-ust tushish muammosini bartaraf etishda xemometrik algoritmlar va sun’iy intellekt asosidagi modellar yuqori aniqlik beradi. Shuningdek, adsorbsiya jarayonlarining kengaytirilgan Langmuir modeli yordamida matematik tavsifi keltirilib, ko‘p komponentli raqobatbardosh muhitda komponentlarning o‘zaro ta’siri izohlandi.

Kalit so‘zlar: Multikomponentli analiz, adsorbsiya, UV–Vis spektrofotometriya, xemometrika, PCR, PLS, ANN, Langmuir modeli, oqava suv, organik bo‘yoqlar.

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные инструментальные и математические методы обнаружения и количественного анализа органических красителей в многокомпонентных системах, в частности, в промышленных сточных водах. На основе научных источников сравниваются преимущества и ограничения таких подходов, как адсорбционные модели, УФ-видимая спектрофотометрия, регрессия главных компонентов (PCR), метод частичных наименьших квадратов (PLS) и искусственные нейронные сети (ANN). Результаты исследования показывают, что хемометрические алгоритмы и модели на основе искусственного интеллекта обеспечивают высокую точность в устранении проблемы спектрального перекрытия в многокомпонентных смесях. Также представлено математическое описание процессов адсорбции с использованием расширенной модели Лангмюра и объяснено взаимодействие компонентов в многокомпонентной конкурентной среде.

Ключевые слова: Многокомпонентный анализ, адсорбция, УФ-видимая спектрофотометрия, хемометрика, ПЦР, PLS, ИНС, модель Лангмюра, сточные воды, органические красители.

ISSN 3030-3907

Abstract. This article examines modern instrumental and mathematical methods for the detection and quantitative analysis of organic dyes in multicomponent systems, particularly in industrial wastewater. Based on scientific literature, the advantages and limitations of approaches such as adsorption models, UV-visible spectrophotometry, principal component regression (PCR), partial least squares (PLS), and artificial neural networks (ANN) are compared. The results demonstrate that chemometric algorithms and artificial intelligence-based models provide high accuracy in resolving spectral overlap in multicomponent mixtures. A mathematical description of adsorption processes using the extended Langmuir model is also presented, and the interactions between components in a multicomponent competitive environment are explained.

Keywords: Multicomponent analysis, adsorption, UV–Vis spectrophotometry, chemometrics, PCR, PLS, ANN, Langmuir model, wastewater, organic dyes.

KIRISH.

Hozirgi davrda to‘qimachilik, charm, qog‘oz, oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatidan hosil bo‘ladigan oqava suvlar tarkibida turli sinfga mansub organik bo‘yoqlar, pigmentlar va boshqa rang beruvchi moddalarning aralashmalari uchraydi. Bunday aralashmalar ko‘pincha ikki, uch yoki undan ortiq komponentdan iborat bo‘lib, ularning bir vaqtning o‘zida aniqlanishi analitik kimyoning muhim masalalaridan biri hisoblanadi [1]. Bo‘yoqlarning suv muhitida barqarorligi, yuqori rang intensivligi va ba’zi hollarda toksikligi ularni ekologik nazorat obyekti sifatida alohida ahamiyatga ega qiladi.

Ko‘p komponentli sistemalar uchun analiz jarayonida asosiy muammo — aralashma tarkibidagi moddalarning spektral signallari bir-birini qoplashi, ya’ni spektral ustma-ust tushish hodisasidir. An’anaviy bir komponentli kalibrlash usullari bunday vaziyatda yetarli selektivlikni ta’minlamaydi. Shu sababli ko‘p o‘zgaruvchanli kalibrlash, faktorli tahlil, regressiya modellar va sun’iy intellekt usullari keng qo‘llanila boshladi [2,3]. Mazkur obzorning maqsadi — ko‘p komponentli suvli aralashmalardagi organik bo‘yoqlarni aniqlashning zamonaviy usullarini tizimlashtirish, ularning ilmiy asoslarini ko‘rsatish hamda amaliy afzalliklarini baholashdir.

TAJRIBAVIY QISM.

Ko‘p komponentli adsorbsiya jarayonlarining nazariy asosi

Oqava suvlarni tozalashda adsorbsiya usuli yuqori samaradorlik, texnologik soddalik va iqtisodiy maqbulligi bilan ajralib turadi. Biroq bir komponentli tizimlardan farqli ravishda ko‘p komponentli sistemalarda adsorbsiya markazlari uchun moddalarning o‘zaro raqobati kuzatiladi. Natijada bir komponentning

ISSN 3030-3907

adsorbsiyasi boshqa komponentlarning adsorbsion sig‘imiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [1].

Kengaytirilgan Langmuir modeli

Ko‘p komponentli adsorbsiya jarayonini tavsiflashda kengaytirilgan Langmuir izotermasi keng qo‘llaniladi. Ushbu model quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$q_{e,i} = (qmax,_i \cdot K_i \cdot C_{e,i}) / (1 + \Sigma_{j=1}^{n} K_j \cdot C_{e,j})$$

Bu yerda

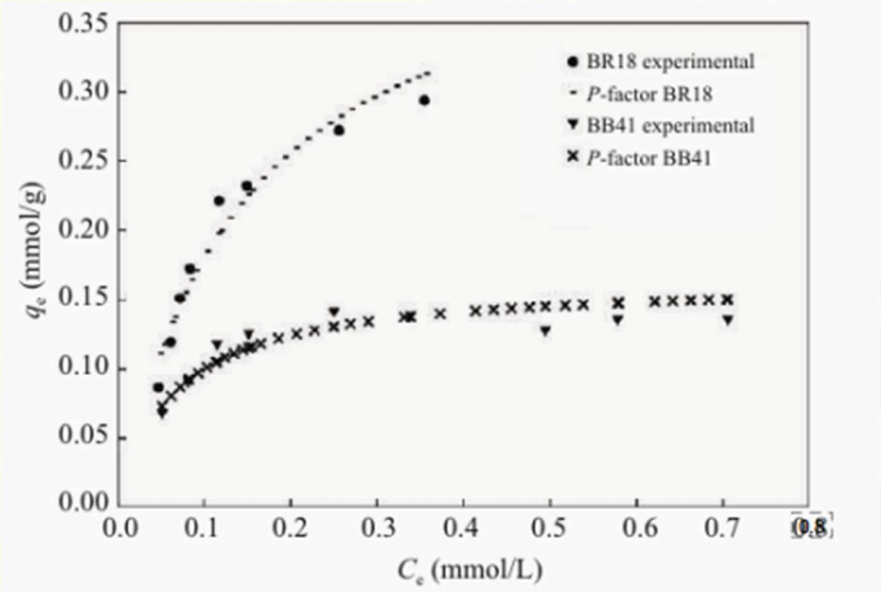
$q_{e,i}$ — i-komponentning muvozanatdagi adsorbsiya sig‘imi (mg/g),

$qmax,_i$ — adsorbentning ushbu komponent bo‘yicha maksimal sig‘imi,

K_i — Langmuir doimiysi,

$C_{e,i}$ — eritmadagi muvozanat konsentratsiyasi.

Tenglamadan ko‘rinadiki, aralashmadagi barcha komponentlar umumiy maxrajda ishtirok etadi, ya’ni har bir komponent boshqalar bilan bir xil faol markazlar uchun raqobatlashadi.



1-Rasm. Ko‘p komponentli tizimda bo‘yoq molekulalarining adsorbent yuzasida raqobatbardosh joylashuvi sxemasi

Amaliy jihatdan bu model adsorbent tanlash, optimal pH va kontakt vaqtini belgilash, shuningdek, oqava suvlarni tozalash qurilmalarining ishlash rejimini optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, aktivlangan ko‘mir, biosorbentlar va modifikatsiyalangan nanomateriallar uchun ushbu model natijalari ko‘p qo‘llanadi.

Spektrofotometrik tahlil va xemometrik yondashuvlar

UV–Vis spektrofotometriya ko‘p komponentli aralashmalarni tezkor va nisbatan arzon tahlil qilish imkonini beruvchi usullardan biridir. Biroq bo‘yoqlarning yutilish spektrlari ko‘pincha bir-biriga juda yaqin joylashadi. Shu

ISSN 3030-3907

sababli oddiy Beer–Lambert qonuni asosidagi bir o‘lchovli kalibrlash yondashuvi yetarli bo‘lmaydi. Bu muammoni bartaraf etishda xemometrik algoritmlar muhim rol o‘ynaydi [2].

Beer–Lambert qonuniga ko‘ra, alohida komponent uchun absorbans quyidagicha ifodalanadi:

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c$$

Bu yerda A — absorbans, ε — molyar yutilish koeffitsienti,
l — optik yo‘l uzunligi, c — konsentratsiya. Ko‘p komponentli sistemada umumiy absorbans quyidagi yig‘indi ko‘rinishida bo‘ladi:

$$A(\lambda) = \Sigma_i \, \varepsilon_i(\lambda) \cdot l \cdot c_i$$

Agar $\varepsilon_i(\lambda)$ funksiyalari bir-biriga yaqin bo‘lsa, komponentlarni bevosita ajratish qiyinlashadi. Shu nuqtada ko‘p o‘zgaruvchanli tahlil usullari samarali hisoblanadi.

Asosiy komponentlar regressiyasi (PCR)

PCR usulida dastlab spektral ma’lumotlar matritsasiga asosiy komponentlar tahlili (PCA) qo‘llanadi va o‘lchamlar soni kamaytiriladi. So‘ngra hosil bo‘lgan latent o‘zgaruvchilar konsentratsiya bilan regressiyalanadi. Bu usul shovqinni kamaytirish, kollinearlikni bartaraf etish va spektral ma’lumotlarni ixchamlashtirish imkonini beradi. PCR, ayniqsa, ikki va uch komponentli bo‘yoq aralashmalarida samarali natija beradi [2].

Qisman eng kichik kvadratlar usuli (PLS)

PLS usuli ko‘p komponentli analizda eng ko‘p qo‘llaniladigan algoritmlardan biridir. Ushbu yondashuv spektral matritsa (X) va konsentratsiya matritsasi (Y) o‘rtasidagi kovariatsiyani maksimal saqlovchi latent omillarni tanlaydi. Shu sababli PLS modeli PCR ga nisbatan ko‘proq selektiv va ko‘pincha yuqoriroq prognoz aniqligini beradi. Amaliy tadqiqotlarda PLS modeli uchun korrelyatsiya koeffitsienti (R^2) odatda 0,98–0,999 diapazonda kuzatiladi, RMSEC va RMSEP qiymatlari esa past bo‘ladi [2,3].

Jadval 1.

Multikomponentli tahlil usullarining qiyosiy tavsifi

Usul nomi	Matematik asosi	Qo‘llanish sohasi	Aniqlik darajasi
Kengaytirilgan Langmuir modeli	Adsorbsiya izotermasi	Suyuq–qattiq fazali muvozanat	O‘rtacha–yuqori
PCR	PCA + regressiya	Spektral ustma-ust aralashmalar	Yuqori
PLS	Kovariatsion regressiya	Murakkab oqava suvlar	Juda yuqori

ISSN 3030-3907

ANN	Nelineyar modellashtirish	Uchlamchi va ko‘p komponentli tizimlar	Eksperimental juda yuqori

Matolardagi bo‘yoq aralashmalarining optik tahlili

Ko‘p komponentli sistemalar nafaqat eritmalarda, balki qattiq fazalarda ham uchraydi. To‘qimachilik materiallari tarkibidagi bo‘yoq aralashmalarini aniqlashda aks ettirish spektrlari va Kubelka–Munk nazariyasiga asoslangan yondashuvlar qo‘llaniladi [4]. Bu usullar matoning rang ko‘rsatkichlari bilan bo‘yoq tarkibi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlashga yordam beradi.

Kubelka–Munk funksiyasi

$$K/S = (1 - R)^2 / 2R$$

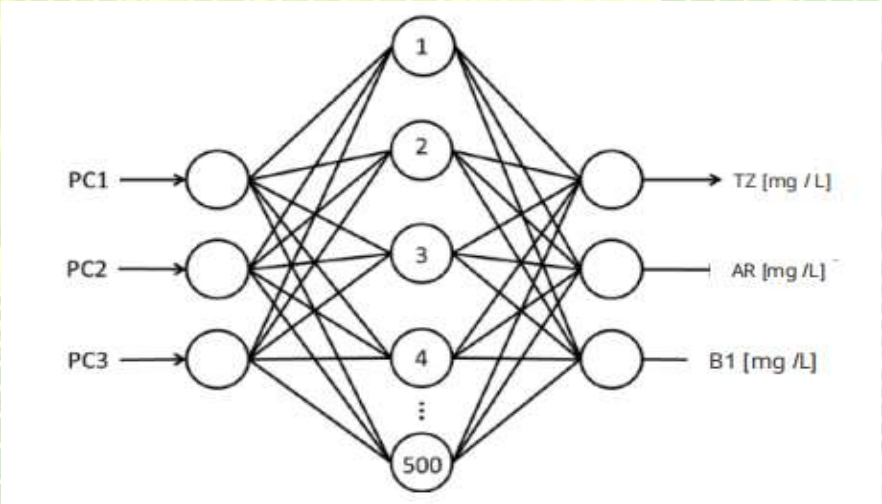
Bu yerda K — yutilish koeffitsienti, S — sochilish koeffitsienti, R — aks ettirish koeffitsienti. Ko‘p komponentli aralashma uchun umumiy K/S qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$(K/S)umumiy = \Sigma_i (K/S)_i$$

Mazkur model yordamida bo‘yoqlarning matodagi ulushi, rang intensivligi va optik xossalari baholanadi. Ushbu yondashuv bo‘yoq retsepturalarini optimallashtirish va sanoatda rangni qayta tiklash tizimlarini yaratishda qo‘llaniladi.

Sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) va zamonaviy istiqbollar

So‘nggi yillarda ko‘p komponentli sistemalar analizida sun’iy intellekt usullariga qiziqish keskin ortdi. Sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) murakkab, nolineyar va yuqori o‘lchamli spektral ma’lumotlar bilan ishlashda yuqori moslashuvchanlikka ega. Agar PCA yordamida dastlabki o‘lchamlar kamaytirilsa, keyinchalik ANN modeli yordamida komponentlar konsentratsiyasini yuqori aniqlik bilan bashorat qilish mumkin [3].



2-rasm. Ko‘p komponentli tahlilda neyron tarmoq arxitekturasi: kirish qatlami (spektr), yashirin qatlam(lar), chiqish qatlami (konsentratsiyalar)

ISSN 3030-3907

ANN modelining afzalligi shundaki, u analitik signal va konsentratsiya o‘rtasidagi nolineyar bog‘liqliklarni ham o‘rganadi. Masalan, Tartrazin, Amarant va Brilliant Blue kabi bo‘yoqlarning uch komponentli suvli aralashmalarida ANN modeli 99 % dan yuqori aniqlik bilan miqdoriy baholash imkonini berganligi haqida ma’lumotlar keltirilgan [3].

OLINGAN NATIJALAR TAHLILI.

Usullarning qiyosiy tahlili va amaliy ahamiyati

Ko‘p komponentli tizimlar uchun analiz usullarini qiyosiy baholash shuni ko‘rsatadiki, biror bitta universal usul barcha holatlar uchun mutlaq ustun emas. Agar maqsad tozalash jarayonini modellashtirish bo‘lsa, adsorbsiya izotermalari va kinetik modellar muhimdir. Agar maqsad tezkor miqdoriy tahlil bo‘lsa, UV–Vis + PLS/PCR kombinatsiyasi yuqori samaradorlik beradi. Agar aralashma tarkibi juda murakkab va nolineyar bog‘liqliklar kuchli bo‘lsa, ANN yoki gibrid PCA–ANN yondashuvi afzal bo‘ladi.

Shuningdek, zamonaviy laboratoriyalarda ushbu usullarni kombinatsiyalash tendensiyasi kuchaymoqda. Masalan, adsorbsiya jarayonidan olingan namunalarni real vaqt rejimida UV–Vis yordamida kuzatish, so‘ng xemometrik model orqali qayta ishlash oqava suv monitoringi uchun istiqbolli yechim hisoblanadi. Bunday integratsiyalashgan yondashuv ekologik nazoratni tezlashtiradi va reaktiv sarfini kamaytiradi.

XULOSA. Ko‘p komponentli suvli aralashmalardagi organik bo‘yoqlarni tahlil qilish zamonaviy analitik kimyoning dolzarb yo‘nalishlaridan biridir. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, an’anaviy bir o‘lchovli usullar murakkab aralashmalarda yetarli selektivlikni ta’minlamaydi. Kengaytirilgan Langmuir modeli ko‘p komponentli adsorbsiya jarayonlarida raqobatbardosh muhitni matematik tavsiflash uchun qulay hisoblanadi. UV–Vis spektrofotometriya bilan birga qo‘llanilgan PCR va ayniqsa PLS algoritmlari spektral ustma-ust tushish muammosini samarali bartaraf etadi. Sun’iy neyron tarmoqlari esa nolineyar va murakkab tizimlarda eng istiqbolli usul sifatida namoyon bo‘lmoqda.

Kelgusida ko‘p komponentli analiz sohasida gibrid xemometrik–sun’iy intellekt modellarini ishlab chiqish, real vaqt monitoringi uchun portativ sensor tizimlarini yaratish hamda ekologik nazoratni avtomatlashtirish ustuvor yo‘nalishlar bo‘lib qoladi. Ushbu obzor natijalari kimyoviy analiz, ekologik monitoring va oqava suvlarni tozalash texnologiyalarini takomillashtirish uchun nazariy va amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Noroozi, B., & Sorial, G. A. (2013). Models applicable for the multi-component adsorption of dyes: A review. Journal of Environmental Sciences, 25(3), 419–429.

ISSN 3030-3907

2. Şahin, S., Demir, C., & Güçer, Ş. (2007). Simultaneous UV–Vis spectrophotometric determination of disperse dyes in textile wastewater by partial least squares and principal component regression. Dyes and Pigments, 73(3), 368–376.
3. Estrada-Moreno, J. C., Rendon-Lara, E., & Jiménez-Núñez, M. L. (2024). Combination of Artificial Neural Networks and Principal Component Analysis for the Simultaneous Quantification of Dyes in Multi-Component Aqueous Mixtures. Applied Sciences, 14(2), 809.
4. Viger, R., Ramsey, S., Mayo, T., & Lambrakos, S. G. (2019). Parametric modeling of reflectance spectra for dyes and their mixtures in fabrics using reference spectra. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 33(9), 1163–1171.
5. Otto, M. (2016). Chemometrics: Statistics and Computer Application in Analytical Chemistry. Wiley-VCH. Brereton, R. G. (2018). Chemometrics for Pattern Recognition. Wiley.

ISSN 3030-3907