



UO'K: 54: 691.175.743: 546.47: 66.085.2

POLIMER YUZASIDA METAL OKSIDI NANOZARRACHALARINI ZOL-GEL USULI YORDAMIDA SINTEZ QILISH VA ULARNING XOSSALARI**СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛЬНЫХ ОКСИДОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ И ИХ СВОЙСТВА****SYNTHESIS OF METAL OXIDE NANOPARTICLES ON POLYMER SURFACES USING THE SOL-GEL METHOD AND THEIR PROPERTIES****Abdujalilov Ilkhomjon Ibrohimjon o'g'li¹** ¹Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti
Kimyo fakulteti polimerlar kimyosi kafedrasida magistranti**Eshtursunov Davron Abdisamatovich²** ²Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti
Kimyo fakulteti polimerlar kimyosi kafedrasida tayanch doktoranti**Egambergenova Sarvinoz Gulamjan qizi³** ³Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti
Kimyo fakulteti 4-kurs talabasi**Inxonova Arofat⁴** ⁴ "Alfraganus university" nodavlat oliy ta'lim tashkiloti
Farmatsevtika va kimyo kafedrasida, PhD**Bekchanov Davronbek Jumazarovich⁵** ⁵Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti
Kimyo fakulteti polimerlar kimyosi kafedrasida k.f.d., prof.**Annotatsiya**

Polimer asosidagi funksional materiallar o'zining keng qo'llanilish sohasi tufayli texnologik jihatdan boshqa materiallar orasida alohida o'rin egallaydi. Metal oksidi asosidagi polimer nanokompozitlar o'ziga hos elektr, optik, termal, mexanik, katalitik, biotibbiy xususiyatlariga ko'ra olimlar tomonidan katta ilmiy qiziqish bildirilmoqda. Ushbu ishda mahalliy homashyo asosida olingan polimer material yuzasida zol-gel usuli yordamida ZnO nanozarrachalari sintezi va ularni organik bo'yoqlardagi fotokatalitik parchalanish reaksiyalari o'rganildi. Olingan ZnO nanozarrachalari tutgan funksional materialni kimyoviy tahlil qilish uchun IQ spektroskopik usul, Skanerlovchi Elektron Mikroskopiya (SEM), Energiya Dispersion Rentgen tahlilidan foydalanildi. ZnO tutgan funksional polimerning organik bo'yoq-Metilen ko'ki (MK) ni suvli eritmasida quyosh nuri ta'sirida fotokatalitik parchalanish reaksiyasi o'rganildi.

Аннотация

Функциональные материалы на основе полимеров занимают особое место среди других материалов благодаря широкому спектру применения в технологии. Полимерные наноконкомпозиты на основе металлических оксидов вызывают значительный научный интерес у исследователей благодаря своим уникальным электрическим, оптическим, тепловым, механическим, каталитическим и биомедицинским свойствам. В данной работе изучен синтез наноразмерных частиц ZnO на поверхности полимерного материала, изготовленного из местного сырья, с использованием метода золь-гель, а также реакции фотокаталитического разложения в органических красителях. Полученные наноразмерные частицы ZnO были проанализированы с помощью химического анализа, включая ИК-спектроскопию, сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и рентгеновский анализ с энергетическим дисперсионным анализом. Изучена реакция фотокаталитического разложения органического красителя метиленового синего (МС) в водном растворе под воздействием солнечного света для функционального полимера, содержащего ZnO.

Abstract

Functional materials based on polymers hold a special place among other materials due to their wide range of applications in technology. Polymer nanocomposites based on metal oxides have attracted significant scientific interest from researchers because of their unique electrical, optical, thermal, mechanical, catalytic, and biomedical properties. This work studies the synthesis of ZnO nanoparticles on the surface of polymer material obtained from local raw materials using the sol-gel method, and their photocatalytic degradation reactions in organic dyes. The obtained ZnO nanoparticles were analyzed using chemical analysis methods including IR spectroscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), and Energy Dispersive X-ray Analysis. The photocatalytic degradation reaction of the organic dye Methylene Blue (MB) in an aqueous solution under sunlight exposure was investigated for the functional polymer containing ZnO.

Kalit soʻzlar: PPE-1 anioniti; ZnO/polimer kompozitlari; Zol-gel usuli; Metilen koʻki; fotokatalizator,

Ключевые слова: анионит PPE-1; ZnO/полимерные композиты; метод золь-гель; метиленовый синий; фотокатализатор.

Key words: PPE-1 anionite; ZnO/polymer composites; sol-gel method; Methylene Blue; photocatalyst.

KIRISH

Metall oksidi nanozarrachalari (MONz) xususan rux oksidi nanozarrachalari sintezi soʻnggi yillarda oʻzining noyob xususiyatlari va keng koʻlamli qoʻllanilishi tufayli katta eʼtibor qozongan. Nanozarrachalar xossalari jihatidan odatiy materiallardan farq qilib, ular kuchli mexanik, optik, elektr, kimyoviy va boshqa oʻziga xos xossalarni namoyon qiladi (Khan, Saeed, & Khan, 2019). Bu esa metall oksidi nanozarrachalarini optik qurilmalar (Prakash, Khan, Chauhan, & Biradar, 2020), tozalash sistemalari (Taiba & Tayyiba, 2021), biotibbiyot (Liu, 2009), fotokataliz (Sadollahkhani, et al., 2014), quyosh batareyalari (Chavali & Nikolova, 2019), gaz sensorlarida (Tsai, et al., 2018) va boshqa sohalarida qoʻllashga imkon beradi (Parashar, Shukla, & Singh, 2020).

Materialshunoslikda ZnO yarimoʻtkazgich sifatida yuqori elektr oʻtkazuvchanligi va yaxshi optik shaffoflikka ega boʻlganligi uchun, antimikrob agent, elektronlarning yuqori harakatchanligi tufayli keng taqiqlangan zonasiga, xona haroratida yuqori termik va mexanik barqarorlikka va xona haroratida kuchli lyuminessensiya kabi koʻplab noyob va foydali xususiyatlarga ega. Uning katta taqiqlangan zonasi 3,37 eV ionli va kovalent yarimoʻtkazgichlar chegarasida joylashgan. Ushbu nanozarrachalarni sintez qilish uchun turli usullar mavjud boʻlsada (1-sxema), zol-gel usuli oʻzining xilma-xilligi, oddiyligi va zarrachalar oʻlchami, shaklini va strukturasi boshqarish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Zol-gel usulida kolloid eritmani (suyuq faza) suyuqlikdan gel (qattiq faza) fazasiga aylantirish orqali materiallarni (Parashar, Shukla, & Singh, 2020), xususan, nanozarrachalarni sintez qilish va keyingi bosqichda polimerlar bilan integratsiyalashishiga imkon beradi.



1-sxema. Metall oksidi nanozarrachalarini sintez qilish usullari

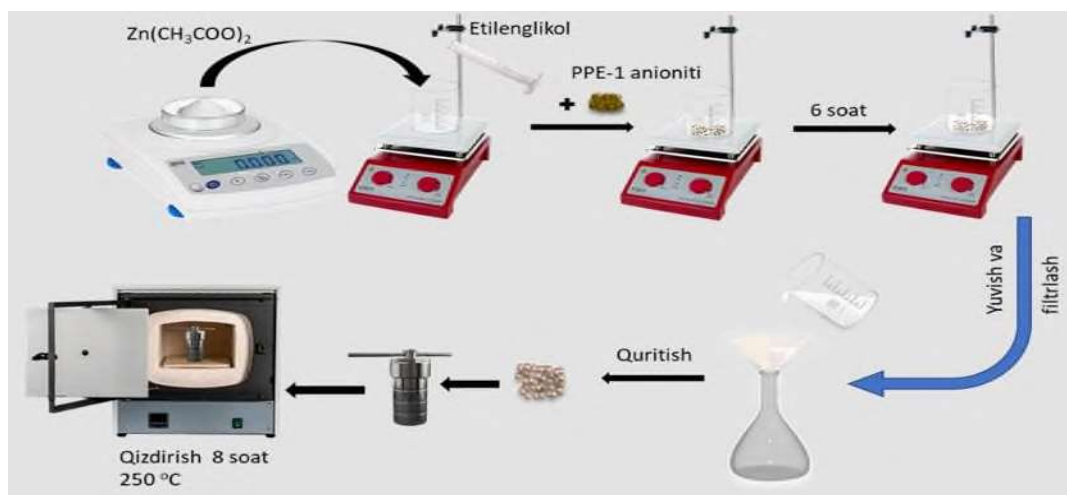
Bunda rux oksidi nanozarrachasi shakllanishiga taʼsir etuvchi omillardan, masalan, reaksiya sharoitlari va polimerning xususiyatlari koʻrib chiqilgan. Shuningdek, biz hosil boʻlgan rux oksidi nanokompozitining strukturaviy, optik va elektr xususiyatlarini muhokama qilamiz, ularning turli

Polimerlar MONz sintezi uchun matritsa sifatida oʻzining yengil vazni, moslashuvchanligi va mexanik xususiyatlarini boshqarish imkoniyatlari kabi afzalliklarga ega boʻlib nanozarrachalar kiritish orqali polimerning kimyoviy xossalari taʼsir etib fizik oʻzgarishlarini oshirib beradi (Eshtursunov, et al., 2023). Metall oksidlarining polimer yuzalariga integratsiyasi ularning funksionalligi va ish faoliyatini oshiradi, bu esa ilgʻor nanokompozit materiallarni rivojlantirishga olib keladi. Metall oksidlar va polimerlar oʻrtasidagi ushbu integratsiya materialshunoslik va muhandislik sohalarida yangi yoʻnalishlarni ochib beradi.

Ushbu ilmiy tadqiqot ishida zol-gel usuli yordamida polimerlar yuzasida rux oksidi nanozarrachasi sintezi keltirilgan.

KIMYO

sohalardagi potentsial qo'llanilishini ko'rib chiqamiz. Ushbu tadqiqot orqali biz zol-gel usuli bilan sintez qilingan MONzlarni polimerlar bilan samarali integratsiya qilish orqali yuqori samarali materiallar yaratish imkoniyatlarini tushunishga hissa qo'shmoqchimiz.

TADQIQOT METADOLOGIYASI

Rasm 1. Funktsional polimer material yuzasida rux oksidi sintez sxemasi

PPE-1/ZnO nanokompozit sintezi

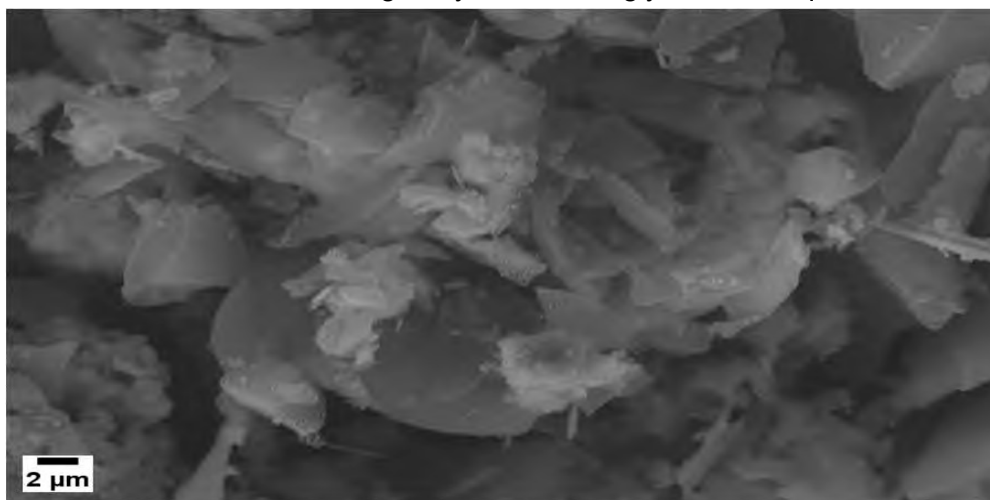
Biz tadqiqotimizda mahalliy xom-ashyo PVX asosida modifikatsiyalab olingan donador PPE-1 anioniti yuzasida ZnO nanozarrachalari sintezini amalga oshirdik. PPE-1 anioniti sintezi adabiyotda ko'rsatilgan usul bo'yicha olindi (Lieberzeit, Bekchanov, & Mukhamediev, 2022). ZnO nanozarrachalari sintezida quyidagi reaktivlardan foydalanildi: PPE-1 anioniti, rux atsetat digidrat ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$), etilenglikol, etil spirti. PPE-1 anioniti yuzasida ZnO nanozarrachasining sintez jarayoni quyidagi sxema asosida ketma-ketlikda bajarildi (1-rasm).

PPE-1/ZnO ni fotokatalitik parchalanish reaksiyasiga tayyorlash

Olingan PPE-1/ZnO nanozarrachasini xossalari o'rganish uchun sanoat organik bo'yog'i metilen ko'kining fotokatalitik parchalanish reaksiyasida qo'llanildi. Buning uchun metilen ko'kining 20 ppm li eritmasidan tayyorlab olindi. Ishchi eritmadan 50 ml metilen ko'ki eritmasidan o'lchab olindi va 150 ml li stakanga quyildi. Keyin analitik tarozida PPE-1/ZnO granularidan 0.5 g miqdorda tortib olinib metilen ko'ki eritmasi ustiga solindi. Fotokatalitik reaksiya borishi uchun aralashma quyosh nuriga qo'yildi va har 20 minutda na'muna olib UV-spektrofotometrda tekshirildi.

NATIJA VA MUHOKAMALAR**PPE-1/ZnO funksional materialning SEM va EDX analizi**

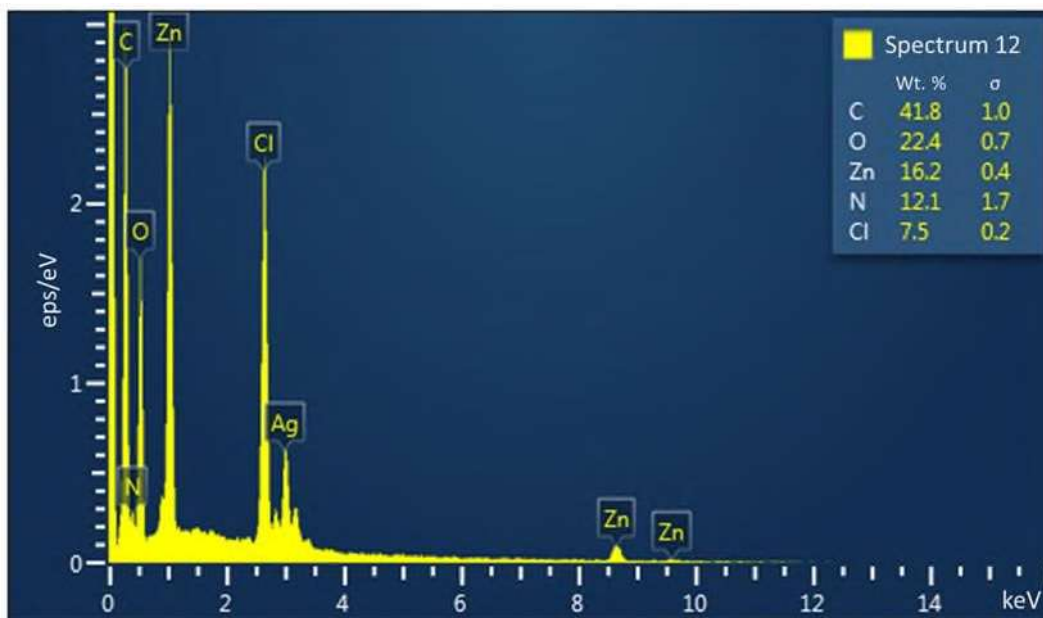
PPE-1/ZnO funksional materialning sirt yuzi morfologiyasini tahlil qilish uchun skanerlovchi



2-rasm ZnO/PPE-1 funksional materialning SEM mikrofotografivasi

elektron mikroskop yordamida mikrofotografiyalari olindi (2-rasm). Olingan mikrofotografiyalardan shuni ko'rish mumkinki, polimer yuzasidagi nanozarrachalar dispersligi va funksional materialning sirt morfologiyasini o'rganishda foydalanildi. SEM natijalaridan ko'rinadiki ZnO nanozarrachalari PPE-1 anioniti g'ovaklari yuzasida notekis tarqalgan.

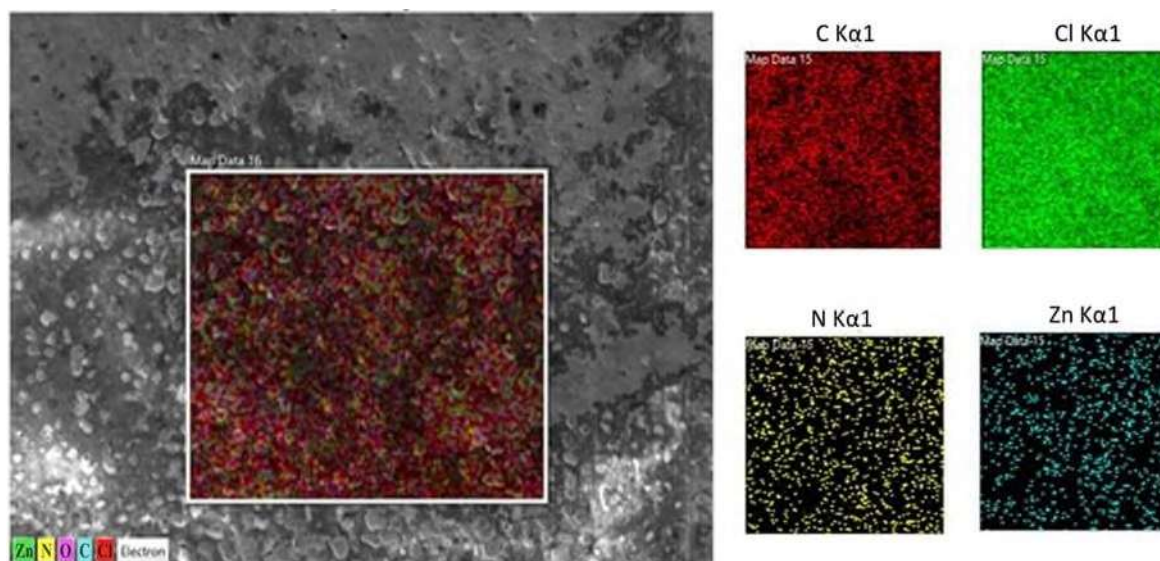
Energiya-dispersiv rentgen (EDX) tahlili keng qamrovli elementlar xaritasini taqdim etdi, sintez qilingan PPE-1/ZnO funksional materialda uglerod, xlor, azot, kislorod va rux atomlarining



3-rasm. ZnO/PPE-1 funksional materialning EDX analiz tahlili

mavjudligini ko'rsatdi(3-rasm). Elementlarning tarqalish xaritasi ushbu elementlarning funksional materialning kesim yuzasi bo'ylab bir tekis tarqalganligini aniq ko'rsatadi. Ushbu bir xil taqsimot sintez usuli ZnO nanoparchalarining polimer matritsasiga muvaffaqiyatli o'tirilishini samarali tarzda osonlashtirganini anglatadi.

ZnO nanozarrachalarining taqsimotida kuzatilgan bir xillik (4-rasmda ko'rsatilganidek) polimerning funksional guruhlari va rux oksidi nanozarrachalari o'rtasidagi elektrostatik va Van der Waals o'zaro ta'sirlari bilan bog'liq. Ushbu o'zaro ta'sirlar nanozarrachalarning anion almashinuvchi material yuzasida barqarorligini ta'minlashda muhim rol o'ynagan bo'lishi mumkin, natijada polimer



4-rasm. Elementlarning tarqalish xaritasi

KIMYO

matritsasi bo'ylab bir xil nanozarrachalar hosil bo'lgan. Bu bir xil taqsimot nanokompozitning funksional yaxlitligini saqlab qolish uchun muhim bo'lib, kataliz yoki adsorbsiyani talab qiluvchi qo'llanmalarda uning samaradorligini oshirishga yordam beradi.

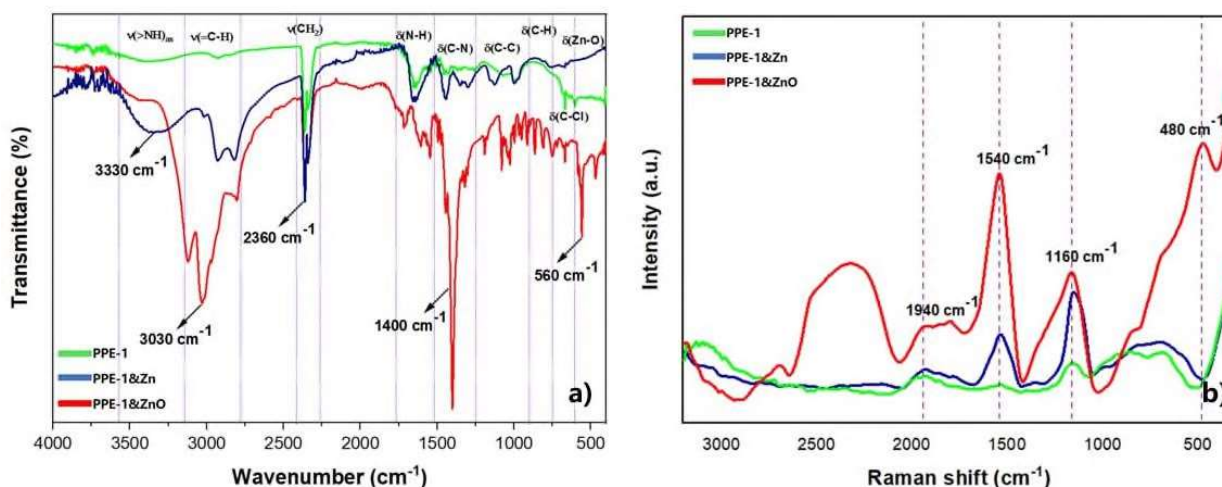
IQ va Raman spektroskopik tahlil

Olingan funksional materialning tuzilishini tahlil qilish uchun IQ va Raman spektroskopik usullari qo'llanildi. PPE-1 anion almashinuvchi qatronning dastlabki va anionit yuzasida ZnO hosil bo'lgandan keyingi tarkibi 5-a rasmda keltirilgan. IQ tahlili natijalariga ko'ra, ZnO kiritilishidan keyin anionitning tuzilishida sezilarli o'zgarishlarga olib keldi. Bu o'zgarishlar anionitning kimyoviy tuzilishi va ZnO nanozarrachalarini bog'lash mexanizmini tushunishda muhim rol o'ynaydi.

Dastlabki PPE-1 anion almashinuvchi qatroni va anionit yuzasida ZnO hosil bo'lgandan keyingi anionit spektrlari o'rtasidagi farqlarni batafsilroq ko'rib chiqaylik. Dastlabki PPE-1 anioniti tarkibida va anionit yuzasida ZnO hosil bo'lgandan keyingi anionit spektrlarida 3300 cm^{-1} sohalarda keng va kuchli O-H guruhiga ta'luqli cho'qqilarning mavjudligi anionit tarkibidagi suv molekularidagi vodorod bog'lanishni mavjudligini tasdiqlaydi, sababi qatron tarkibida namlik ~48% ni tashkil qiladi. 2360 cm^{-1} sohalarda $-\text{CH}_2$ va $-\text{CH}_3$ alkil guruhlarining valent tebranishlarini, 1653 cm^{-1} sohasidagi N-H bog'larining valent tebranishlari amin bog'larni, 1400 cm^{-1} sohalardagi C-N bog'larining valent tebranishlari anionit tarkibida ikkilamchi amin borligini tasdiqlaydi.

Anionit yuzasida ZnO hosil bo'lgandan keyingi anionit spektrlarida 3300 dan 3380 cm^{-1} sohadagi valent tebranishlar siljiganligi kuzatildi, bu anionit tarkibidagi suv molekulari vodorod bog'lanish orqali anionitning amin guruhlar bilan ZnO o'zaro ta'siri orqali hosil bo'lganligini ko'rsatadi. 2931 cm^{-1} sohasida $-\text{CH}_2$ va $-\text{CH}_3$ guruhlarining valent tebranishlarini, 1615 cm^{-1} sohasidagi N-H bog'larining valent tebranishlari amin bog'larni, 1400 cm^{-1} va 910 cm^{-1} sohalardagi C-N bog'larining valent tebranishlari anionit tarkibida ikkilamchi amin borligini tasdiqlaydi, 560 cm^{-1} sohada anionitda kuzatilmagan yangi simmetrik va asimmetrik deformatsion tebranishlari anionitning ZnO bilan bog'langanligini va Zn=O guruhlar mavjudligini ko'rsatadi, bu esa kompozitning xususiyatlariga, jumladan, uning mexanik mustahkamligi, termostabilligi va potensial fotokatalitik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin.

IQ spektroskopiyasi Me-O bog'lanishga tegishli bo'lgan tebranish sohasining intensivligini yetarli darajada ko'rsata olmaganligi sababli, uni to'ldirish maqsadida Raman spektroskopik tahlildan foydalanildi. Quyidagi 5- b rasmda PPE-1 anioniti, PPE-1 anionitida qaytarilgan Zn va ZnO nanozarrachasi tutgan PPE-1 (c) funksional materialning Raman spektri keltirilgan bo'lib PPE-1 anionitida kuzatilmaydigan yuqori chastotali to'lqin uzunliklari 1940 cm^{-1} , 1540 cm^{-1} , 1160 cm^{-1} , 480 cm^{-1} tebranish sohalari kuzatilgan.



5-rasm. a) PPE-1 anioniti, PPE-1/Zn va PPE-1/ZnO nanokompozitining IQ spektrlari; b) PPE-1, PPE-1/Zn, PPE-1/ZnO larning Raman spektrlari

ZnO funksional material yuzasida modifikatsiyalangan so'ng PPE-1 anioniti spektrlarida 480 cm^{-1} tebranish sohasi Zn-O bog'lariga tegishli bo'lib, rux va polimer matritsasi o'rtasida o'zaro

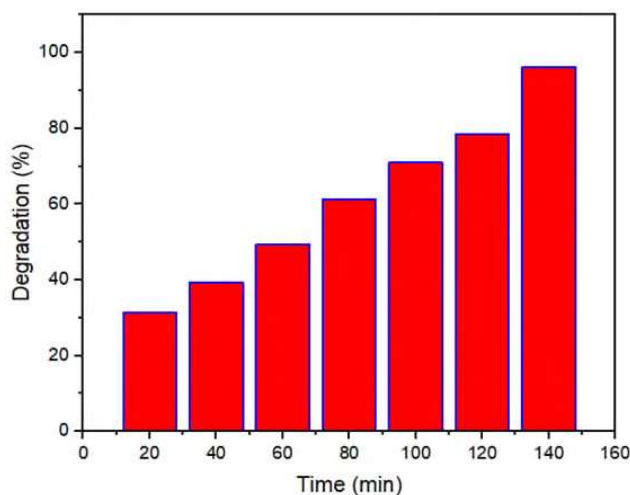
ta'sirlashish natijasida $1940\text{ cm}^{-1}(\text{C}=\text{C})$, $1540\text{ cm}^{-1}(\text{C}-\text{N})$, $1160\text{ cm}^{-1}(\text{C}-\text{H})$ sohalaridagi tebranishlar anionit tarkibida juda kuchli intensivlikni namoyon qilgan. Bu esa PPE-1 anioniti yuzasida ZnO nanozarrachasi PPE-1 anioniti bilan o'zaro donor-akseptor va Van der Waals ta'sirlar orqali bog'lanish hosil bo'lganligini hamda bu anionitning matritsasidagi funksional guruhlarni tebranish sohalariga ta'sir qilishini ko'rsatadi.

Fotokatalitik mexanizmning borishi

Fotokatalitik jarayon fotoqo'zg'alistan boshlanadi. Bunda fotokatalizator o'zining taqiqlangan zona energiyasiga teng yoki undan yuqori energiyali fotonlarni yutadi. Bu qo'zg'alistan natijasida elektron-teshik juftlari hosil bo'ladi va ular keyingi oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarida muhim ahamiyatga ega. Qo'zg'algan elektronlar fotokatalizator sirtiga ko'chib, u yerda kislorod molekullari bilan o'zaro ta'sirlashadi. Bu jarayon natijasida gidroksil radikallari ($\bullet\text{OH}$) va superoksid ionlari ($\bullet\text{O}_2^-$) kabi faol kislorod turlari vujudga keladi. Ushbu reaktiv kislorod turlari keng diapazondagi organik ifloslantiruvchi moddalarni tanlamasdan parchalashga qodir kuchli oksidlovchi agentlardir. Fotokatalitik reaksiyalarning samaradorligiga bir nechta omillar, jumladan, fotokatalizator tabiati, yorug'lik to'lqin uzunligi, pH va harorat kabi atrof-muhit sharoitlari ta'sir qiladi. Masalan, ZnO asosidagi fotokatalizda polimer nanokompozit kabi funksional materiallar bilan legirlash taqiqlangan zonani samarali ravishda kamaytirishi mumkin, bu esa ko'rinadigan yorug'likni yaxshi yutish imkonini beradi va shu bilan katalitik ko'rsatkichlarni yaxshilaydi. Bundan tashqari, ZnO nanostrukturalaridagi funksional materiallarning morfologiyasi va g'ovakligi ularning sirt yuzasi va faol joylariga bevosita ta'sir qiladi, bu esa degradatsiya tezligini optimallashtirish uchun juda muhimdir.

ZnO/PPE-1 ni fotokatalitik xossasi

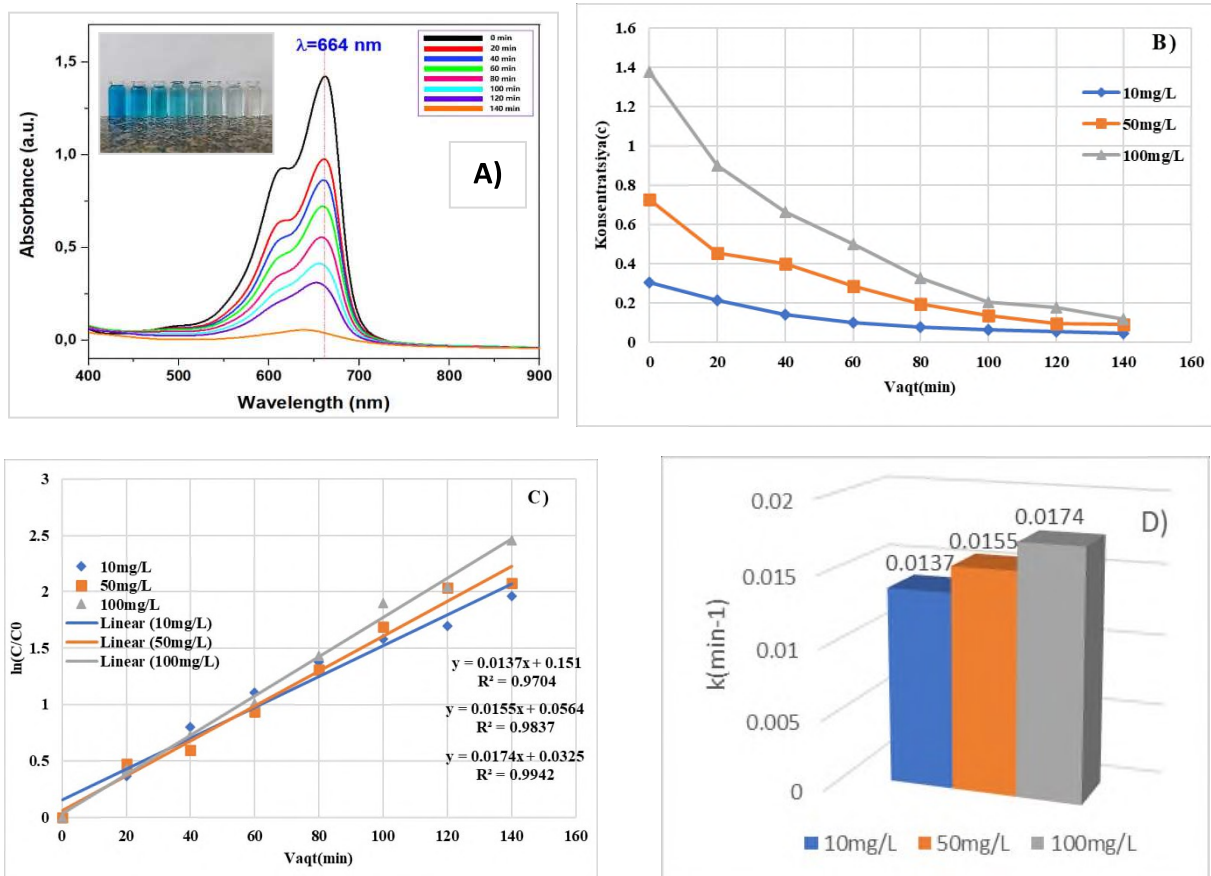
PPE-1&ZnO funksional polimer material yuzasidagi ZnO nanozarrachasi quyosh nuri ta'sirida zaharli organik bo'yoq metilen ko'kini 140 minut vaqt davomida 96-98% unum bilan fotokatalitik degradatsiyaga uchratdi(6-rasm). Metilen ko'kning fotokatalitik parchalanishi ($\lambda=664\text{ nm}$) Shimadzu UV-1900i spektrofotometrida har 20 minutda optik zichliklarini o'zgarishlarini o'lchash orqali fotokatalitik parchalanish samaradorligi aniqlandi. Fotokatalitik parchalanish jarayonida bo'yoq konsentratsiyasini o'zgarishini quyidagi 7- A rasmdan ko'rish mumkin.7-B



6-rasm. Metilen ko'kning ZnO/PPE-1 ishtirokida parchalanish samaradorligi

rasmda 0-140 minut vaqt oralig'ida metilen ko'ki bo'yog'ining fotokatalitik parchalanishiga dastlabki bo'yoq konsentratsiyasini ta'siri keltirilgan. Unga ko'ra konsentratsiya ortishi bilan parchalanish tezligi kamaygan. Bunga sabab funksional material bilan ta'sirlashuvlar ko'paygan. 7-rasm C diagrammada $\ln(\text{C}/\text{C}_0)$ ni vaqtga nisbatan bog'liqligi ko'rsatilgan (Khushvaktov, Botirov, Babojonova, Bekchanov, & Mukhamediyev, 2022). Ushbu bog'lanishdan foydalanib 10mg/L, 50mg/L, 100mg/L konsentratsiyali MK eritmalarida bo'yoqning parchalanish kinetikasi konstantalari hisoblandi(7-D rasm).

XULOSA



7-rasm. A) Parchalanayotgan Metilen ko'kning suvli eritmasining vaqtga bog'liq UB-yutilish spektri; B) Parchalanishning bo'yoq konsentratsiyasiga bog'liqligi; C) Psevdo-birinchi tartibli kinetik modeli; D) Turli konsentratsiyadagi metilen ko'kning fotokatalitik parchalanish kinetik konstantalari.

Polimer yuzasida ZnO nanozarrachalari zol-gel usuli yordamida muvaffaqiyatli sintez qilindi. Olingan funksional materialning kimyoviy tarkibi IQ va Raman spektroskopiyasi yordamida analiz qilindi. Materialning sirt morfologiyasini analiz qilishda SEM va EDX analizlaridan foydalanib o'rganildi. Funksional materialni organik bo'yoqlarni fotokatalitik parchalanish reaksiyalarida qo'llanildi va Metilen ko'ki bo'yog'ini quyosh nurida 140 minut davomida to'liq parchaladi. Metilen ko'kning parchalanish kinetikasi konstanta qiymatlari hisoblandi. Olingan PPE-1/ZnO funksional materialni fotokatalitik reaksiyalarda qo'llanilishi mumkin degan xulosaga kelindi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

- Chavali, M., & Nikolova, M. (2019). Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology. *SN Appl. Sci.*, 1, 607. doi:<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0592-3>
- Deepalekshmi Ponnamma, J.-J. C. (2019). Synthesis, optimization and applications of ZnO/polymer nanocomposites. *Materials Science & Engineering C*, Pages 1210-1240.
- Eshtursunov, D. A., Inkhonova, A., Botirov, S., Fayzullayev, Y., Bekchanov, D., & Mukhamediev, M. (2023). Removal of Rhodamine B from Wastewater by Adsorption using Iron Oxide-Polymer Composite Material. *Asian Journal of Chemistry*, 36(1), 32-36. doi:<https://doi.org/10.14233/ajchem.2024.30278>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019, November). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2017.05.011>
- Khushvaktov, S., Botirov, S., Babojonova, G., Bekchanov, D., & Mukhamediyev, M. (2022). Sorbtic kinetics of chromium (VI) ions to anion exchanger. *2021 ASIA-PACIFIC CONFERENCE ON APPLIED MATHEMATICS AND STATISTICS* (p. 050038). Tashkent: AIP Conference Proceedings. doi:<http://dx.doi.org/10.1063/5.0089565>
- Lieberzeit, P., Bekchanov, D., & Mukhamediev, M. (2022). Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications: Review. *Polymers for Advanced Technologies*, 1809-1820. doi:<https://doi.org/10.1002/pat.5656>

7. Liu, Y. H. (2009, October 1). Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against Escherichia coli O157:H7. *Journal of Applied Microbiology*, 107(4), 1193–1201. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04303.x>
8. Parashar, M., Shukla, V., & Singh, R. (2020). Metal oxides nanoparticles via sol–gel method: a review on synthesis, characterization and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 3729-3749. doi:10.1007/s10854-020-02994-8
9. Prakash, J., Khan, S., Chauhan, S., & Biradar, A. (2020). Metal oxide-nanoparticles and liquid crystal composites: A review of recent progress. *Journal of Molecular Liquids*, 297, 1120052. doi:<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112052>
10. Sadollahkhani, A., Kazeminezhad, I., Lu, J., Nur, O., Hultman, L., & Willander, M. (2014). Synthesis, structural characterization and photocatalytic application of ZnO@ZnS core–shell nanoparticles. *RSC advances*, 36940-36950. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/C4RA05247A>
11. Taiba, N., & Tayyiba, D. (2021). The role of some important metal oxide nanoparticles for. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 59-75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.12.001>
12. Tsai, Y.-T., Chang, S.-J., Ji, L.-W., Hsiao, Y.-J., Tang, I.-T., Lu, H.-Y., & Chu, Y.-L. (2018). High Sensitivity of NO Gas Sensors Based on Novel Ag-Doped ZnO Nanoflowers Enhanced with a UV Light-Emitting Diode. *ACS Omega*, 3(10), 13798-13807. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01882>