Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

SUVDA ERUVCHAN TABIIY VA SINTETIK POLIMERLAR ASOSIDA KOMPOZIT MATERIALLAR OLISH JARAYONINI O‘QITISHNING METODIK ASOSLARI

Mustafoyev Khusen Mamatqulovich Dotsent
Email: husenmustafoyev7@gmail.com

Tosheva Sitora Sayfullayevna
Buxoro davlat pedagogika instituti
Aniq va tabiiy fanlar fakulteti 2-bosqich magistanti
Email: sitoratosheva02@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22869448

Annotatsiya: Ushbu maqolada suvda eruvchan tabiiy va sintetik polimerlar asosida kompozit materiallar olish jarayonini oliy ta’limda o‘qitishning ilmiy-metodik asoslari tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy obyekti sifatida kraxmal, xitozan kabi tabiiy polimerlar hamda polivinil spirti (PVA) kabi suvda eruvchan sintetik polimerlardan foydalanib kompozit materiallar tayyorlash texnologiyasi qaraladi. Mazkur polimerlarning molekulyar tuzilishi, suv bilan o‘zaro ta’siri, vodorod bog‘lari hosil qilishi, plastifikatsiya, eritmadan quyish, aralashtirish, quritish va modifikatsiyalash jarayonlari o‘quv jarayoni bilan bog‘liq holda yoritiladi. Ilmiy adabiyotlarda kraxmal/PVA tizimlarida gidroksil guruhlari o‘rtasidagi vodorod bog‘lari komponentlar mosligini yaxshilashi ko‘rsatilgan [1], [2]. Tadqiqotlarda kompozit tarkibi o‘zgarishi mexanik mustahkamlik, elastiklik, namlikka chidamlilik va biologik parchalanish xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan [3], [4]. Maqolada laboratoriya mashg‘ulotlarini muammoli ta’lim, loyiha metodi, tajribaviy ta’lim, modulli o‘qitish va natijalarni instrumental tahlil qilish bilan integratsiyalash metodikasi taklif etiladi. Shuningdek, o‘quvchilarning nazariy bilimlarini real material tayyorlash jarayoni bilan bog‘lash, texnologik parametrlarni mustaqil tanlash va olingan material xususiyatlarini ilmiy asosda baholash imkoniyatlari ko‘rsatiladi.

Kalit so‘zlar: suvda eruvchan polimerlar, tabiiy polimer, sintetik polimer, polivinil spirti, kraxmal, xitozan, kompozit material, polimer aralashmasi, eritmadan quyish, plastifikatsiya, laboratoriya mashg‘uloti, polimer texnologiyasi, metodika, materialshunoslik.

Kirish

Polimer materiallar zamonaviy materialshunoslik, kimyo texnologiyasi, oziq-ovqat qadoqlash, biotibbiyot, membrana texnologiyasi va ekologik muhandislikning muhim tarkibiy qismidir. Ayniqsa, qayta tiklanadigan xomashyodan olinadigan tabiiy polimerlar va suvda eruvchan yoki suvli muhitda qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan sintetik polimerlar asosida yangi kompozit materiallar yaratish yo‘nalishi ilmiy tadqiqotlarda keng o‘rganilmoqda [5], [6].

Tabiiy polimerlar qatoriga kraxmal, sellyuloza, xitozan, oqsillar va boshqa biopolimerlar kiradi. Kraxmalning keng tarqalganligi, qayta tiklanishi va biologik parchalanishi uni kompozit materiallar uchun istiqbolli komponentga aylantiradi. Shu bilan birga, sof kraxmal asosidagi materiallarning mexanik xususiyatlari va namlikka sezgirligi ularning amaliy qo‘llanishini cheklaydi [7]. Kraxmalning suvni o‘ziga tortuvchi xususiyati, shuningdek, mexanik mustahkamlikning ayrim sharoitlarda yetarli bo‘lmasligi uni boshqa komponentlar bilan modifikatsiyalash zaruratini yuzaga keltiradi [7], [8].

Sintetik suvda eruvchan polimerlar orasida polivinil spirti alohida o‘rin egallaydi. PVA polivinilatsetatning gidrolizlanishi orqali olinadi va gidroksil guruhlarining mavjudligi sababli gidrofil xususiyatga ega [9]. PVA plyonka hosil qilish qobiliyati, mexanik xususiyatlari, kimyoviy barqarorligi va suvda eruvchanligi bilan turli texnologik jarayonlarda qo‘llanadi [9], [10].

Tabiiy va sintetik polimerlarni birlashtirishdan maqsad har bir komponentning ijobiy xususiyatlarini bir materialda uyg‘unlashtirishdir. Masalan, kraxmal/PVA aralashmalarida gidroksil guruhlari orasidagi vodorod bog‘lari komponentlararo o‘zaro ta’sirni kuchaytirishi mumkin [1]. Tian va hammualliflarining tadqiqotida 50% kraxmal saqlagan PVA/kraxmal plyonkasida uzilishdagi cho‘zilish 1000% dan yuqori, tortilish mustahkamligi esa 9 MPa bo‘lganligi qayd etilgan [1]. Bunday natijalar polimer tarkibi va texnologik sharoitlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘quv jarayonida ko‘rsatish uchun muhim ilmiy asos bo‘la oladi.

Shu sababli suvda eruvchan tabiiy va sintetik polimerlar asosida kompozit materiallar olishni o‘qitish faqat nazariy ma’lumot berish bilan cheklanmasligi, balki material tayyorlash, uning tarkibini tanlash, texnologik parametrlarni boshqarish va fizik-mexanik xususiyatlarni aniqlashni o‘z ichiga olgan kompleks metodik tizim sifatida tashkil etilishi lozim.

Metodologiya

Mazkur maqola eksperimental maqola emas, balki ilmiy manbalarni tizimli-tahliliy o‘rganishga asoslangan metodik tadqiqot sifatida shakllantirildi. Tahlil uchun polimer materiallar, PVA/kraxmal kompozitlari, tabiiy polimerlar, suvda eruvchan polimerlar va polimer ta’limiga bag‘ishlangan ilmiy maqolalar tanlandi. Manbalarda keltirilgan tajriba shartlari va o‘lchangan ko‘rsatkichlar taqqoslandi.

Metodik yondashuvning birinchi bosqichi polimerlarning kimyoviy va fizik xususiyatlarini o‘rganishdan iborat. Talabaga dastlab polimerning takrorlanuvchi strukturaviy bo‘g‘ini, molekulyar massasi, gidrofilligi, suvda eruvchanligi va funksional guruhlari tushuntiriladi. PVA misolida gidroksil guruhlarining suv bilan o‘zaro ta’siri va molekulalararo vodorod bog‘larining kompozit xususiyatlariga ta’siri ko‘rsatiladi [9], [10].

Ikkinchi bosqichda tabiiy va sintetik polimerlarning farqlari o‘rganiladi. Kraxmal tabiiy polisaxarid sifatida, PVA esa sintetik suvda eruvchan polimer sifatida taqqoslanadi. Bunda talabalar “biologik parchalanish”, “suvda eruvchanlik”, “gidrofillik”, “plastifikatsiya” va “kompozit” tushunchalarini bir-biridan farqlashlari kerak.

Uchinchi bosqich — kompozit materialni olish texnologiyasini o‘rganish. Ilmiy adabiyotlarda kraxmal/PVA materiallarini tayyorlashda eritmadan quyish, eritma aralashtirish, erituvchini bug‘latish, issiqlik bilan ishlov berish va boshqa usullar qo‘llangan [1], [2], [11]. Kraxmal asosidagi materiallarni tayyorlash texnologiyalari ho‘l va quruq usullarga ajratilishi, ho‘l usulga eritmadan quyish, quruq usullarga esa ekstruziya va qoliplash kirishi qayd etilgan [12].

O‘quv laboratoriyasida xavfsiz va sodda variant sifatida eritmadan quyish usulini tanlash maqsadga muvofiq. Bunda polimer suvli muhitda eritiladi yoki dispersiyalanadi, komponentlar belgilangan nisbatda aralashtiriladi, zarur bo‘lsa plastifikator qo‘shiladi, hosil bo‘lgan aralashma tekis sirtga quyiladi va nazorat qilinadigan sharoitda quritiladi. Tudorachi va hammualliflari PVA va kraxmalning suvli eritmalaridan foydalanib, aralashmani 60–80 °C diapazonda tayyorlagan va 70 °C da 2 soat davomida aralashtirgan; keyinchalik plastifikator komponentlari kiritilib, plyonka quyish amalga oshirilgan [3]. Ushbu ma’lumot o‘quv laboratoriyasida texnologik ketma-ketlikni tushuntirish uchun manbaviy namuna sifatida qo‘llanishi mumkin.

To‘rtinchi bosqichda texnologik parametrlarning material xususiyatlariga ta’siri o‘rganiladi. Talabalar polimerlar nisbati, plastifikator miqdori, aralashtirish harorati, aralashtirish vaqti, quritish sharoiti va namlik kabi omillarni mustaqil o‘zgaruvchi parametrlar sifatida ko‘rib chiqadilar.

Beshinchi bosqichda materialning xususiyatlarini baholash amalga oshiriladi. Bunda tortilish mustahkamligi, uzilishdagi cho‘zilish, elastiklik moduli, suv yutishi, suvda eruvchanligi, namlikka chidamlilik, termik barqarorlik va biologik parchalanish kabi ko‘rsatkichlardan foydalanish mumkin [2], [3], [11].

Zamonaviy pedagogik nuqtayi nazardan bunday laboratoriya mashg‘uloti “nazariya → tajriba → o‘lchash → tahlil → xulosa” ketma-ketligida tashkil qilinishi samarali hisoblanadi. 2026-yilda chop

etilgan polimer ta’limiga oid tadqiqotda polimerlarni qayta ishlash va tavsiflashni bir nechta o‘zaro bog‘langan laboratoriya modullari orqali o‘qitish talabaning polimer tuzilishi, qayta ishlash sharoitlari va material xususiyatlari o‘rtasidagi aloqani tushunishiga xizmat qilishi ta’kidlangan [13].

Natijalar

Ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish suvda eruvchan tabiiy va sintetik polimerlar asosidagi kompozitlarni o‘qitishda bir nechta asosiy metodik natijalarni ajratib ko‘rsatish imkonini beradi.

Birinchidan, PVA va kraxmalning o‘zaro ta’sirini o‘qitish polimerlararo vodorod bog‘lari mexanizmini amaliy ko‘rsatish imkonini beradi. PVA va kraxmal tarkibidagi gidroksil guruhlari o‘zaro vodorod bog‘lari hosil qilishi mumkin. Tian va hammualliflari bunday o‘zaro ta’sir PVA va kraxmalning mosligini yaxshilashini ko‘rsatgan [1]. Bu jarayonni FTIR spektrlari orqali tushuntirish mumkin.

Ikkinchidan, kompozit tarkibining mexanik xususiyatlarga ta’siri tajribaviy topshiriq sifatida qo‘llanishi mumkin. Tian va boshqalarining tadqiqotida kraxmal miqdori oshirilishi bilan tortilish mustahkamligi va Young moduli kamaygani, biroq 50% kraxmal tarkibida uzilishdagi cho‘zilish 1000% dan yuqori bo‘lgani qayd etilgan [1]. Ushbu natija talabaga “kompozitning eng yaxshi xususiyati barcha ko‘rsatkichlar bo‘yicha maksimal qiymat degani emas” degan muhim materialshunoslik tamoyilini tushuntirishga imkon beradi.

Uchinchidan, PVA miqdorini o‘zgartirish orqali kompozit xususiyatlarini boshqarish mumkin. Patil va hammualliflari kraxmalga PVA ning 10, 30, 50, 70 va 90% miqdorlarini kiritib, kompozit plyonkalarning mexanik va barer xususiyatlarini o‘rgangan. PVA qo‘shilishi mexanik va barer ko‘rsatkichlarni yaxshilagan; PVA miqdori yuqori bo‘lgan SP90 namunada sof kraxmalga nisbatan tortilish mustahkamligi 1,93 marta, uzilishdagi cho‘zilish 3,74 marta va yorilish kuchi 1,72 marta oshgani qayd etilgan [2]. Suv bug‘i o‘tkazuvchanligi 52%, kislorod o‘tkazuvchanligi esa 57% ga kamaygan [2].

To‘rtinchidan, kompozitga nanozarrachalar qo‘shish orqali material xususiyatlarini yanada o‘zgartirish mumkin. Zhang va hammualliflarining ishlarida PVA/kraxmal kompozitlariga nanoo‘lchamli PMMA-ko-akrilamid zarrachalari kiritilganda mexanik va suvga chidamlilik xususiyatlari 70–400% oralig‘ida yaxshilangani qayd etilgan [11].

Shuningdek, PVA mikrosferalari bilan mustahkamlangan termoplastik kraxmal kompozitlarida 1% PVA mikrosferasi qo‘shilganda tortilish mustahkamligi 3,5 MPa, uzilishdagi cho‘zilish 71,73% va zarba mustahkamligi 33,4 kJ/m² bo‘lganligi aniqlangan [14]. Bu ma’lumotlar talabalar uchun “to‘ldiruvchi miqdorini oshirish doimo xususiyatni oshiradi” degan noto‘g‘ri qarashni tajribaviy ma’lumotlar asosida rad etishga yordam beradi.

Beshinchidan, nano-SiO_2 va boshqa modifikatorlar ham PVA/kraxmal tizimining xususiyatlariga ta’sir qilishi mumkin. Tadqiqotlardan birida PVA/kraxmal/nano-SiO_2 plyonkasining optimal namunasi taxminan 15 MPa tortilish mustahkamligi va 120% uzilishdagi cho‘zilishga ega bo‘lgan [15].

Oltinchidan, grafik va instrumental tahlil metodik jihatdan alohida ahamiyatga ega. Talabalar faqat yakuniy natijani yozish bilan cheklanmasdan, “polimer tarkibi — texnologik parametr — strukturaviy o‘zgarish — mexanik xususiyat” zanjirini grafik ko‘rinishda ifodalashi lozim.

Tahlil va muhokama

Suvda eruvchan tabiiy va sintetik polimerlar asosida kompozit materiallar olish jarayonini o‘qitishda eng muhim masala — nazariy bilimni real texnologik jarayon bilan bog‘lashdir. Oddiy ma’ruza shaklida PVA, kraxmal yoki xitozanning xususiyatlarini sanab o‘tish talabaning texnologik fikrlashini to‘liq shakllantirmaydi. Buning o‘rniga laboratoriya mashg‘uloti orqali talaba material tarkibini o‘zi tanlashi, tajriba shartlarini belgilashi va natijalarni taqqoslashi kerak.

Pedagogik jihatdan birinchi samarali yondashuv — **muammoli ta’lim**. Talabaga “Nima sababdan sof kraxmal plyonkasining mexanik xususiyatlari yetarli bo‘lmasligi mumkin?” yoki “PVA qo‘shilishi

kraxmal asosidagi materialning xususiyatlarini qanday o‘zgartiradi?” kabi savollar beriladi. Javob tajriba yoki ilmiy manba tahlili orqali izlanadi.

Ikkinchi yondashuv — **loyiha metodi**. Talabalar kichik guruhlarga bo‘linib, masalan, “PVA/kraxmal kompozitining optimal tarkibini aniqlash” loyihasini bajarishlari mumkin. Bir guruh PVA miqdorini, ikkinchi guruh plastifikator ta’sirini, uchinchi guruh esa quritish sharoitini o‘rganadi. Yakunda barcha guruhlar natijalarini yagona jadvalga kiritadi.

Uchinchi yondashuv — **taqqoslash metodi**. Talabalarga sof PVA, sof kraxmal va PVA/kraxmal kompozitining xususiyatlari beriladi. Ular mexanik mustahkamlik, elastiklik, suv yutish va boshqa ko‘rsatkichlarni taqqoslaydi. Bunda kompozit materialning asosiy maqsadi bitta komponentning barcha xususiyatlarini maksimal darajaga chiqarish emas, balki kerakli ekspluatatsion xususiyatlarning muvozanatini shakllantirish ekanligi tushuntiriladi.

To‘rtinchi yondashuv — **instrumental tahlil bilan integratsiya**. FTIR polimerlararo funksional guruhlar o‘zgarishini, SEM sirt morfologiyasini, DSC termik o‘tishlarni, TGA termik parchalanish jarayonlarini, mexanik sinovlar esa mustahkamlik va deformatsiya xususiyatlarini o‘rganishga xizmat qiladi. Zamonaviy polimer ta’limida sintez, termik xususiyat va mexanik sinovlarni o‘zaro bog‘langan laboratoriya modullarida o‘rganish aynan shu integratsiyalashgan yondashuvni qo‘llab-quvvatlaydi [13].

Beshinchi muhim jihat — ekologik mazmun. Suvda eruvchanlikni avtomatik ravishda “to‘liq ekologik xavfsizlik” bilan tenglashtirish ilmiy jihatdan noto‘g‘ri. Julinová va hammualliflari PVA va PVP kabi suvda eruvchan polimerlarning ekologik taqdirini alohida o‘rganish zarurligini ko‘rsatgan; PVA tuproqda, PVP esa suv muhitlarida aniqlangan holatlar haqida ma’lumotlar keltirilgan [16]. Demak, o‘quv jarayonida “suvda eruvchan”, “bioparchalanuvchi” va “ekologik xavfsiz” tushunchalari bir-biridan ajratib tushuntirilishi zarur.

Kraxmal asosidagi materiallarning muhim kamchiliklaridan biri namlikka sezgirlikdir. Jiang va hammualliflari kraxmal asosidagi materiallarning mexanik xususiyatlari va namlikka sezgirligini asosiy texnologik muammolardan biri sifatida ko‘rsatadi [7]. Shu sababli kompozit tarkibini o‘zgartirish, boshqa polimer qo‘shish, tabiiy yoki sintetik to‘ldiruvchilar kiritish va sirtni modifikatsiyalash kabi yondashuvlar o‘quv tajribalarining asosiy yo‘nalishlariga aylantirilishi mumkin.

Xitozan ham tabiiy polimer sifatida alohida o‘rganilishi mumkin. Xitozan xitinning deatsetillanishidan olinadigan aminopolisaxarid bo‘lib, biokompatibil, biologik parchalanadigan va antibakterial xususiyatlari bilan tavsiflanadi [17]. PVA bilan xitozan kombinatsiyasi biomateriallar, plyonkalar, membranalar va gidrogellar kabi yo‘nalishlarda o‘rganilgan [17].

O‘qitish metodikasida baholash mezonlari ham oldindan belgilanadi. Talabaning bilimini faqat yakuniy mahsulot ko‘rinishi bo‘yicha baholash yetarli emas. Baholash quyidagi tarkibiy qismlardan tashkil topishi mumkin: nazariy asosni tushuntirish, texnologik ketma-ketlikni to‘g‘ri tuzish, tajriba xavfsizligiga rioya qilish, o‘lchov natijalarini qayd etish, grafik va jadvallar tuzish, natijalarni ilmiy manbalar bilan taqqoslash va asoslangan xulosa chiqarish.

Shuningdek, laboratoriya mashg‘ulotida “o‘zgaruvchini nazorat qilish” tamoyili alohida o‘rgatilishi lozim. Masalan, PVA miqdorining ta’sirini o‘rganishda boshqa shartlar imkon qadar bir xil saqlanadi. Faqat bitta parametr o‘zgartiriladi. Bu yondashuv talabaga eksperimental dizaynning asosiy tamoyillarini amaliy ravishda o‘zlashtirish imkonini beradi.

Xulosa

Suvda eruvchan tabiiy va sintetik polimerlar asosida kompozit materiallar olish jarayonini o‘qitish materialshunoslik, polimer kimyosi, kimyo texnologiyasi va ekologik ta’limni birlashtiruvchi fanlararo metodik yo‘nalish hisoblanadi. Ilmiy manbalar tahlili PVA, kraxmal va xitozan kabi polimerlarning kompozit materiallar olish uchun muhim imkoniyatlarga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Kraxmalning qayta tiklanadigan va biologik parchalanadigan xususiyatlari uning muhim afzalligi bo‘lsa, namlikka sezgirligi va ayrim mexanik cheklovlari uning kamchiligi hisoblanadi [7], [12]. PVA

esa suvda eruvchanligi, plyonka hosil qilishi, mexanik va kimyoviy xususiyatlari bilan kompozit tizimlarda muhim sintetik komponent sifatida namoyon bo‘ladi [9], [10]. PVA va kraxmalning gidroksil guruhlari o‘rtasidagi vodorod bog‘lari ularning o‘zaro mosligiga ta’sir qilishi mumkin [1].

Ilmiy tadqiqotlarda kompozit tarkibining mexanik xususiyatlarga sezilarli ta’siri ko‘rsatilgan. Masalan, ayrim PVA/kraxmal tizimlarida PVA miqdorining oshirilishi mexanik va barer xususiyatlarning yaxshilanishiga olib kelgan [2], boshqa tadqiqotlarda esa tarkib, namlik va plastifikator miqdori natijalarni sezilarli darajada o‘zgartirgan [1], [3]. Demak, o‘quv jarayonida bitta “ideal retsept”ni yodlatishdan ko‘ra, tarkib va xususiyat o‘rtasidagi sabab-oqibat munosabatlarini o‘rgatish metodik jihatdan maqsadga muvofiqdir.

Eng samarali o‘qitish modeli “nazariya — laboratoriya — instrumental tahlil — statistik yoki grafik qayta ishlash — ilmiy muhokama” ketma-ketligiga asoslanishi mumkin. Bunday yondashuv talabaning nafaqat polimerlar haqidagi nazariy bilimini, balki eksperimental, tahliliy va muhandislik kompetensiyalarini ham shakllantiradi.

Shuningdek, suvda eruvchanlikni biologik parchalanish yoki ekologik xavfsizlik bilan avtomatik tenglashtirmaslik kerak. PVA va PVP kabi suvda eruvchan sintetik polimerlarning atrof-muhitdagi taqdiri alohida baholanishi zarurligi ilmiy adabiyotlarda qayd etilgan [16]. Shu sababli ekologik baholash kompozit materiallarni o‘qitishning ajralmas qismi bo‘lishi lozim.

Umuman olganda, tabiiy va sintetik suvda eruvchan polimerlar asosida kompozit materiallar olishni laboratoriya, loyiha va muammoli ta’lim usullari bilan integratsiyalash talabalarga polimerning molekulyar tuzilishi, texnologik jarayon va tayyor material xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni amaliy ravishda anglash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Tian H., Yan J., Rajulu A.V., Xiang A., Luo X. Fabrication and properties of polyvinyl alcohol/starch blend films: Effect of composition and humidity. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, Vol. 96, pp. 518–523.
2. Patil S., Bharimalla A.K., Mahapatra A., Dhakane-Lad J., Arputharaj A.S.M., Kambli N., Kumar M., Raja A.S.M. Effect of polymer blending on mechanical and barrier properties of starch-polyvinyl alcohol based biodegradable composite films. Food Bioscience, 2021, Vol. 44, Article 101352.
3. Tudorachi N., Cascaval C.N., Rusu M., Pruteanu M. Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. Polymer Testing, 2000, Vol. 19, No. 7, pp. 785–799.
4. Hu W., Zou Z., Li H., Zhang Z., Yu J., Tang Q. Fabrication of highly transparent and multifunctional polyvinyl alcohol/starch based nanocomposite films using zinc oxide nanoparticles as compatibilizers. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, Vol. 204, pp. 284–292.
5. Ponnusamy P.G., Mani S. Material and Environmental Properties of Natural Polymers and Their Composites for Packaging Applications—A Review. Polymers, 2022, Vol. 14, No. 19, Article 4033.
6. Nguyen M.T.P., Escribà-Gelonch M., Hessel V., Coad B.R. A Review of the Current and Future Prospects for Producing Bioplastic Films Made from Starch and Chitosan. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2024, Vol. 12, No. 5.
7. Jiang T., Duan Q., Zhu J., Liu H., Yu L. Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2020, Vol. 3, No. 1, pp. 8–18.
8. Siqueira L. do V., Arias C.I.L.F., Maniglia B.C., Tadini C.C. Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. Current Opinion in Food Science, 2021, Vol. 38, pp. 122–130.

9. Ben Halima N. Poly(vinyl alcohol): review of its promising applications and insights into biodegradation. RSC Advances, 2016, Vol. 6, No. 46, pp. 39823–39832.
10. Verma C., Quraishi M.A. Polyvinyl alcohol (PVA) as a biodegradable polymeric anticorrosive material: A review on present advancements and future directions. Corrosion Engineering, Science and Technology, 2022, Vol. 57, No. 8, pp. 796–812.
11. Zhang X., va boshqalar. Mechanical and water barrier properties of starch/PVA composite films by adding nano-sized poly(methyl methacrylate-co-acrylamide) particles. Carbohydrate Polymers, 2012, Vol. 87, No. 1, pp. 676–686.
12. Siqueira L. do V., Arias C.I.L.F., Maniglia B.C., Tadini C.C. Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives. Current Opinion in Food Science, 2021, Vol. 38, pp. 122–130.
13. Sami A., Rabat N.E., Yahya W.Z.N., Johari K., Qayyum H., Shah S.F.A. Enhancing Student Understanding of Polymer Processing through a Multi-module Laboratory Course: Bridging Simulation and Practice. Journal of Chemical Education, 2026, Vol. 103, No. 6, pp. 3278–3286.
14. Guo B., Zha D., Li B., Yin P., Li P. Polyvinyl Alcohol Microspheres Reinforced Thermoplastic Starch Composites. Materials, 2018, Vol. 11, No. 4, Article 640.
15. Wang N., Zhang X., Han N., Bai S. Effect of nano-SiO_2 on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films. Carbohydrate Polymers, 2008, Vol. 72, No. 3, pp. 521–526.
16. Julinová M., Vaňharová L., Jurča M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidon – And potential solutions to environmental issues: A brief review. Journal of Environmental Management, 2018, Vol. 228, pp. 213–222.
17. Rafique A., Zia K.M., Zuber M., Tabasum S., Rehman S. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, Vol. 87, pp. 141–154.
18. Razmgar K., Nasiraee M. Polyvinyl alcohol-based membranes for filtration of aqueous solutions: A comprehensive review. Polymer Engineering & Science, 2022, Vol. 62, No. 1, pp. 25–43.
19. Wu Z., Huang Y., Xiao L., Lin D., Yang Y., Wang H., Yang Y., Wu D., Chen H., Zhang Q., Qin W., Pu S. Physical properties and structural characterization of starch/polyvinyl alcohol/graphene oxide composite films. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, Vol. 123, pp. 569–575.
20. Das A., Bhattacharyya S., Uppaluri R., Das C. Optimality of poly-vinyl alcohol/starch/glycerol/citric acid in wound dressing applicable composite films. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, Vol. 155, pp. 260–272.