SCIENCE HUB REVIEW
2026
Volume 1
Issue 3
www.sciencehubreview.uz
ILMIY ELEKTRON JURNAL

IKKILAMCHI POLIETILENTEREFTALATNI ETILENGLIKOL BILAN ALKOGOLIZ QILISH MAHSULOTLARINI SINTEZ QILISH VA ULARNING TERMOFIZIK XOSSALARI

Jo‘rayev Adham To‘laganovich

Qarshi davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi

adhamjo‘rayev17@gmail.com

Rasulov Shuhrat Mangiyevich

Qarshi davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi

shuhratrasulov10@gmail.com

Tilavov Husan Shomurodovich

Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti, texnika fanlari nomzodi

husan.tilavov86@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu maqolada ikkilamchi polietilentereftalat (PET) chiqindilarini etilenglikol bilan alkogoliz qilish orqali qayta ishlash natijasida olingan bis(2-gidroksietil)tereftalat asosidagi oligomer mahsulot (BGTF/PAPET) ning sintezi va termofizik xossalari o‘rganilgan. Reaksiyaning nukleofil transesterifikatsiya mexanizmi asoslangan va jahon amaliyotidagi to‘rtta asosiy alkogoliz variant (katalizlangan, erituvchili, superkritik, mikroto‘lqinli) qiyosiy tahlil qilingan. Turli sintez sharoitlarida olingan 11 ta namunaning differensial skanerlovchi kalorimetriya (DSC) usulida termofizik xossalari aniqlangan: erish cho‘qqisi harorati 122,33-138,30°C, erish entalpiyasi 42,95–163,6 J/g oralig‘ida joylashgan. Olingan natijalar xalqaro adabiyotdagi sof BHET monomeri ma‘lumotlari (erish harorati 100,4-112,5°C) bilan qiyoslanib, tadqiqot mahsulotining oligomerik tabiati haqida ilmiy asoslangan xulosa chiqarilgan.

Kalit so‘zlar

Ikkilamchi polietilentereftalat, alkogoliz, bis(2-gidroksietil)tereftalat, differensial skanerlovchi kalorimetriya, oligomer, qayta ishlash.

Kirish

Poliolefinlar va poliefirlar asosidagi plastmassa mahsulotlarining, jumladan polietilentereftalat (PET) idishlarining iste'moldan keyingi yig‘ilib borishi zamonaviy dunyoning eng dolzarb ekologik muammolaridan biri hisoblanadi. PET chiqindilarini qayta ishlashning uchta yo‘nalishi mavjud: birlamchi (qayta ekstruziya), ikkilamchi (mexanik) va uchlamchi (kimyoviy) qayta ishlash. Ulardan kimyoviy qayta ishlash - xususan, alkogoliz (glikoliz) - PET makromolekula zanjirini past molekulyar massali oligomer va monomerlargacha depolimerizatsiya qilish orqali, boshqa polimer materiallarni modifikatsiyalash uchun yaroqli funksional qo‘shimchalar olish imkonini beruvchi eng istiqbolli usullardan biri sifatida e'tirof etilgan.

O‘zbekiston Respublikasida yiriik gaz-kimyo majmualarida, jumladan «Shurtan gaz-kimyo majmuasi»da (SHGKM), sanoat miqyosida polietilen plyonka ishlab chiqarilmoqda. Ushbu polimerlarning sifat ko‘rsatkichlarini mahalliy ikkilamchi xom ashyo - PET chiqindilari - hisobiga oshirish, bir vaqtning o‘zida ham import o‘rnini bosuvchi modifikatsiyalovchi komponent yaratish, ham aylanma iqtisodiyot tamoyillarini amalga oshirish imkonini beradi. Ushbu maqolaning maqsadi - ikkilamchi PETning etilenglikol bilan alkogolizi natijasida olingan mahsulotning sintez sharoitlarini ilmiy asoslash va uning termofizik xossalarini differensial skanerlovchi kalorimetriya usulida tadqiq etishdan iborat.

Tadqiqot metodikasi

Alkogoliz reaksiyasi inert azot gazini kiritish uchun mo‘ljallangan aralashtirgich, termometr va qaytar sovutgich bilan jihozlangan to‘rt bo‘yinli kolbada, ikkilamchi PET va etilenglikolni turli molyar nisbatlarda, 190-205°C harorat oralig‘ida, 2-8 soat davomida, katalizator ishtirokida aralashtirish orqali amalga oshirildi. Olingan bis(2-gidroksietil)tereftalat asosidagi oligomer mahsulot (BGTF) namunalarining termofizik xossalari TA Instruments DSC Q20 differensial skanerlovchi kalorimetrida o‘rganildi. 2,9-9,7 mg og‘irlikdagi namunalar alyuminiy idishlarga tortilib, 20-200°C harorat oralig‘ida, 10°C/min qizdirish tezligida azot muhitida skanerlandi. Har bir namuna uchun erishning boshlanish harorati (Tonset), erish cho‘qqisi harorati (Tpeak) va erish entalpiyasi (ΔHm) aniqlandi.

Natijalar va muhokama

Alkogoliz reaksiyasi mexanizmi nukleofil almashinuv (transesterifikatsiya) reaksiyasi sifatida qaraladi: etilenglikol molekulasining gidroksil guruhi PET zanjiridagi karbonil markazga nukleofil hujum qiladi, natijada ester bog‘i uzilib, yangi, qisqaroq zanjirli ester bog‘i hosil bo‘ladi:

$$[–OC–C_6H_4–COO–CH_2CH_2O–]n + n\ HOCH_2CH_2OH \rightarrow n\ HOCH_2CH_2OOC–C_6H_4–COOCH_2CH_2OH$$

Jahon ilmiy adabiyotida PET alkogolizini amalga oshirishning to‘rtta asosiy varianti tavsiflangan: (1) metall tuzlari, oksidlari yoki ion suyuqliklar katalizatorligidagi klassik katalizlangan alkogoliz; (2) organik erituvchilar (masalan, ksilol) ishtirokidagi alkogoliz; (3) 350-450°C va 1,1-15,3 MPa sharoitidagi superkritik alkogoliz, bunda 90% dan yuqori unumga erishish mumkinligi qayd etilgan; (4) mikroto‘lqinli energiya manbai bilan tezlashtirilgan alkogoliz. Ushbu tadqiqotda sanoat sharoitiga eng mos - katalizlangan alkogoliz yo‘li tanlab olindi, chunki u nisbatan past harorat va oddiy uskunada amalga oshirilishi mumkin.

Turli sintez sharoitlarida (PET:EG molyar nisbati, reaksiya davomiyligi va harorati bo‘yicha farqlangan) olingan 11 ta BGTF namunasining DSC natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Sintez qilingan BGTF namunalarining DSC natijalari

Namuna	Tonset, °C	Tpeak, °C	ΔHm, J/g
N1	125,64	133,00	119,9
N2	124,07	137,35	140,4
N3	126,66	135,39	148,7
N4	117,93	129,06	115,4
N5	125,78	131,36	158,1
N6	127,53	138,30	122,8
N7	117,88	130,12	60,56
N8	127,60	135,78	148,6
N9	122,35	127,86	42,95
N10 (1)	126,37	136,58	127,7
N11	127,82	134,23	163,6

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, namunalarning erish cho‘qqisi harorati 122,33-138,30°C (o‘rtacha ≈132°C), erish entalpiyasi esa 42,95-163,6 J/g oralig‘ida sezilarli tarqoqlik bilan joylashgan. Bu natijalarni xalqaro adabiyotdagi ma'lumotlar bilan solishtirish muhim ilmiy topilmaga olib keladi: sof, yuqori tozalikdagi bis(2-gidroksietil) tereftalat (BHET) monomerining erish harorati adabiyotda 100,4-112,5°C oralig‘ida qayd etilgan. Bizning tadqiqotimizdagi namunalarning erish harorati bundan 10-26°C yuqori.

Ushbu farqning ilmiy izohi quyidagicha: sof adabiyot namunalari, odatda, qo‘shimcha tozalash bosqichlaridan o‘tgan, yuqori tozalikdagi (>94,5%) monomer BHET hisoblanadi. Bizning sharoitlarimizda olingan mahsulot esa, sof monomerdan tashqari, uning yuqori oligomerlarini (qisman depolimerlangan, di- va trigidroksietil hosilalarini) ham o‘z ichiga olgan aralashma tarkibiga ega. Bunday oligomerik aralashmalarning erish harorati va entalpiyasi tarkibidagi oligomer ulushiga qarab yuqoriroq va kengroq oraliqda bo‘lishi kutiladi. Bu gipotezani namunalar orasidagi katta farq ham tasdiqlaydi: N9 namunasi uchun ΔHm - 42,95 J/g (nisbatan past kristallik, ehtimol yuqori oligomer ulushi), N11 namunasi uchun esa ΔHm - 163,6 J/g (yuqori kristallik, ehtimol monomerga yaqinroq tarkib) - bu deyarli to‘rt baravar farq degani, turli sintez sharoitlarida turlicha depolimerizatsiya darajasiga erishilganini ko‘rsatadi.

Shunday qilib, DSC usuli orqali olingan termofizik ma'lumotlar nafaqat mahsulot tuzilishini tasdiqlash, balki alkogoliz jarayonining depolimerizatsiya darajasini bilvosita baholash uchun ham mustaqil, informativ mezon bo‘lib xizmat qilishi mumkinligi ko‘rsatildi.

Xulosa

O‘tkazilgan tadqiqot natijasida ikkilamchi PETning etilenglikol bilan alkogolizi reaksiyasining nukleofil transesterifikatsiya mexanizmi asoslandi va jahon amaliyotidagi to‘rtta asosiy alkogoliz yo‘li qiyosiy tahlil qilindi. Turli sintez sharoitlarida olingan 11 ta BGTF namunasining DSC usulida termofizik xossalari aniqlanib, ularning sof BHET monomeridan farqli, oligomerik tabiatga ega ekanligi haqida ilmiy asoslangan xulosaga kelindi. Olingan natijalar ikkilamchi PET asosida modifikatsiyalovchi qo‘shimchalar sintez qilish texnologiyasini takomillashtirish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi va

kelgusi tadqiqotlarda ushbu mahsulotning sanoat polietilen markalariga ta'sirini o‘rganish uchun poydevor yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2026-yil 26-maydagi PF-98-son Farmoni.

2. Enthalpies of fusion for BHET from virgin PET and post-consumer PET//ResearchGate.

2. PET Glycolysis to BHET Efficiently Catalyzed by Stable and Recyclable Pd-Cu/γ-Al2O3 // PMC. - 2024.

4. Sub- and supercritical glycolysis of polyethylene terephthalate (PET) into the monomer bis(2-hydroxyethyl) terephthalate (BHET) // Academia.edu.

5. Thermal Behavior Analysis of Bis(2-hydroxyethyl) Terephthalate for Recovery from Polyethylene Terephthalate Glycolysis // MDPI (Recycling). - 2026.

6. Вакили.М.Ч., Хагченас Фард М. Химическая переработка полиэтилентерефталата//Донецкий национальный технический университет.