POLISAXARIDLAR HOSILALARI ASOSIDA QUYUQLASHTIRUVCHILAR OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

To‘xtayeva Munisa Valamat qizi
E-mail: tuxtayevamunisa98@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22923437

Annotatsiya

Ushbu maqolada polisaxaridlar hosilalari asosida funksional xususiyatlari boshqariladigan quyuqlashtiruvchilar olish texnologiyasining ilmiy asoslari tadqiq etildi. Polisaxaridlarning molekulyar tuzilishi, funksional guruhlari, molekulyar massasi, substitutsiya darajasi, gidratlanish qobiliyati va makromolekulalararo o‘zaro ta’sirlarining quyuqlashtirish samaradorligiga ta’siri tizimli ravishda tahlil qilindi. Kraxmal va selluloza asosidagi hosilalar alohida ko‘rib chiqilib, asetillash, gidroksipropillash, karboksimetillash, efirlashtirish va ko‘ndalang bog‘lash kabi modifikatsiya usullarining fizik-kimyoviy hamda reologik xususiyatlarga ta’siri yoritildi. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, quyuqlashtiruvchi samaradorligini faqat modifikatsiya turi bilan izohlash yetarli emas; modifikatsiya darajasi, molekulyar massa, substituentlarning taqsimlanishi, suv bilan o‘zaro ta’sir va polimer zanjirlarining eritmadagi konformatsiyasi o‘zaro bog‘liq holda baholanishi zarur. Mahalliy ilmiy tadqiqotlar, xususan, sellyuloza va kraxmal asosida polisaxaridlarning karboksimetilli kompozitsiyalarini olishga bag‘ishlangan O‘zbekiston tadqiqotlari xalqaro ilmiy natijalar bilan qiyoslandi. Natijalar asosida xomashyoni tayyorlash, ishqoriy faollashtirish, kimyoviy modifikatsiyalash, neytrallash, yuvish, quritish, maydalash va reologik nazorat bosqichlarini o‘z ichiga oluvchi texnologik model taklif etildi. Ishlab chiqilgan konsepsiya mahalliy polisaxarid xomashyosi va ikkilamchi sellyulozali resurslardan funksional quyuqlashtiruvchilar olish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: polisaxarid, polisaxarid hosilasi, kraxmal, sellyuloza, karboksimetillash, efirlashtirish, quyuqlashtiruvchi, gidrokolloid, qovushqoqlik, reologiya, substitutsiya darajasi, gidratlanish, texnologiya.

Abstract

This study investigates the scientific basis for developing a technology for producing thickening agents based on polysaccharide derivatives. The effects of molecular structure, functional groups, molecular weight, degree of substitution, hydration capacity, and intermolecular interactions on thickening performance were systematically analyzed. Starch- and cellulose-based derivatives were considered with particular attention to acetylation, hydroxypropylation, carboxymethylation, etherification, and crosslinking. The literature analysis demonstrates that thickening efficiency cannot be explained solely by the type of chemical modification. Instead, degree of substitution, molecular weight, substituent distribution, hydration behavior, and polymer-chain conformation should be evaluated as an interconnected structure–property system. Relevant Uzbek research on carboxymethylated polysaccharide compositions was compared with international studies. Based on the synthesis of the available evidence, a technological model comprising raw-material preparation,

alkaline activation, chemical modification, neutralization, washing, drying, milling, and rheological quality control was proposed. The developed approach may provide a scientific basis for producing functional thickeners from locally available polysaccharide resources and secondary cellulose-containing raw materials.

Keywords: polysaccharide, polysaccharide derivative, starch, cellulose, carboxymethylation, etherification, thickener, hydrocolloid, viscosity, rheology, degree of substitution, hydration, technology.

KIRISH

Polisaxaridlar tabiiy polimerlar orasida funksional imkoniyatlari kengligi, qayta tiklanuvchanligi va kimyoviy modifikatsiyaga moyilligi bilan ajralib turadi. Kraxmal va sellyuloza kabi polisaxaridlar ko‘plab texnologik tizimlarda quyuqlashtiruvchi, stabilizator, suvni ushlab turuvchi va reologik modifikator sifatida qo‘llanadi. Ayniqsa, polisaxarid makromolekulalarining suv bilan o‘zaro ta’siri natijasida gidratlangan polimer zanjirlarining hajmi ortishi va eritmada makromolekulalararo o‘zaro ta’sirlarning kuchayishi tizimning oqimga qarshiligini oshiradi. Kraxmalning quyuqlashtiruvchi sifatidagi funksiyasi uning biologik kelib chiqishi, amyloza/amylopektin nisbati, granula morfologiyasi va konsentratsiyasi bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, tabiiy kraxmalning ayrim texnologik cheklovlarini modifikatsiya orqali bartaraf etish mumkin [1, pp. 1–2].

Tabiiy polisaxaridlarning texnologik xususiyatlarini boshqarish masalasi ularning molekulyar tuzilishini maqsadli o‘zgartirish bilan bog‘liq. Kimyoviy modifikatsiya jarayonida makromolekula tarkibiga yangi funksional guruhlar kiritilishi natijasida uning gidrofilligi, eruvchanligi, suvni bog‘lash qobiliyati, termik barqarorligi va reologik xatti-harakati o‘zgaradi. Kraxmal uchun asetillash, gidroksipropillash va ko‘ndalang bog‘lash keng qo‘llanadigan modifikatsiya strategiyalari bo‘lib, ularning samarasi kraxmalning botanika kelib chiqishi, amyloza va amylopektin nisbati, granula tuzilishi hamda modifikatsiyalovchi reagent turi va konsentratsiyasiga bog‘liq [1, pp. 1–4].

Selluloza hosilalari nuqtai nazaridan esa efirlashtirish alohida ahamiyatga ega. Selluloza makromolekulasidagi gidroksil guruhlarining kimyoviy transformatsiyasi orqali suvda eruvchan va reologik faol hosilalar olish mumkin. Fox va hammualliflar polisaxarid hosilalarining “tuzilish–xossa” munosabatini tushunishda substituentlarning monosaxarid halqasidagi va polimer zanjiri bo‘ylab joylashishini nazorat qilish muhimligini ta’kidlaydi [2, pp. 1956–1959].

Mazkur muammo O‘zbekiston ilmiy maktabida ham tadqiq etilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi ma’lumotlarida Murodxo‘ja Abdujalol o‘g‘li Siddiqovning **“Polisaxaridlarning karboksimetilli kompozisiyalarini sintezi va ularni qo‘llanilish sohalari”** mavzusidagi PhD dissertatsiyasi qayd etilgan. Tadqiqotning maqsadi Kaliforniya teragining ikkilamchi xomashyosidan olingan kimyoviy qayta ishlashga yaroqli sellyuloza asosida polisaxaridlarning karboksimetilli kompozitsiyalarini olish texnologiyasini yaratishdan iborat bo‘lgan. OAK ma’lumotlariga ko‘ra, tadqiqotda sellyuloza olishning texnologik parametrlari, karboksimetilli kompozitsiyalar sintezi hamda ularning burg‘ulash qorishmalaridagi amaliy samaradorligi o‘rganilgan.

Shu sababli polisaxarid hosilalari asosida quyuqlashtiruvchi olish masalasini alohida modda olish emas, balki **xomashyo tarkibi → modifikatsiya sharoiti → molekulyar**

tuzilish → gidratlanish → reologik javob → texnologik samaradorlik ketma-ketligi asosida ko‘rib chiqish maqsadga muvofiqdir.

TADQIQOT MAQSADI

Tadqiqotning maqsadi polisaxarid hosilalari asosida funksional va reologik xususiyatlari boshqariladigan quyuqlashtiruvchilar olish texnologiyasining ilmiy asoslarini ishlab chiqish hamda modifikatsiya jarayonining asosiy texnologik parametrlarini tizimlashtirishdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun polisaxaridlarning quyuqlashtirish mexanizmini tahlil qilish, kraxmal va sellyulozaning kimyoviy modifikatsiya usullarini qiyoslash, substitutsiya darajasining funksional xususiyatlarga ta’sirini aniqlash, reologik baholash mezonlarini belgilash, mahalliy tadqiqotlarni xalqaro ilmiy natijalar bilan bog‘lash va polisaxarid hosilasi asosidagi quyuqlashtiruvchi olishning texnologik modelini shakllantirish vazifalari belgilandi.

MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqot ilmiy adabiyotlarning qiyosiy-tahliliy sintezi, strukturaviy-funksional tahlil va texnologik modellashtirish usullariga asoslandi. Asosiy manbalar sifatida polisaxaridlarning kimyoviy modifikatsiyasi, kraxmalning reologik xususiyatlari, sellyuloza efirlarining suvli tizimlardagi xatti-harakati va polisaxarid hosilalarining amaliy qo‘llanishiga bag‘ishlangan ilmiy maqolalar tanlandi.

Kraxmal modifikatsiyasi bo‘yicha Singh, Kaur va McCarthy tomonidan tayyorlangan *Food Hydrocolloids* sharhi asosiy nazariy manbalardan biri sifatida qabul qilindi. Mazkur sharh asetillash, gidroksipropillash va ko‘ndalang bog‘lashning kraxmalning fizik-kimyoviy, morfologik, termik va reologik xususiyatlariga ta’sirini qamrab oladi [1, pp. 1–22].

Selluloza hosilalarining tuzilish–xossa munosabatlarini tahlil qilishda Fox va hammualliflarning *Biomacromolecules* jurnalidagi sharhi, zamonaviy texnologik modifikatsiyani baholashda esa Kim va hammualliflarning 2024-yilgi *ACS Applied Polymer Materials* tadqiqoti asos qilib olindi. Kim va hammualliflar sellyulozani glycidol bilan efirlashtirib, suvli tizimlarda reologik modifikator sifatida ishlaydigan 2,3-digidroksipropilsellyuloza olishni o‘rgangan va reaksiya vaqti, harorat, erituvchi tarkibi hamda reagent yuklamasini o‘zgaruvchilar sifatida baholagan [3, pp. 6714–6719].

Mahalliy ilmiy natijalarni baholashda OAKning rasmiy ma’lumotlari asos qilib olindi. Siddiqov dissertatsiyasida ikkilamchi xomashyodan kimyoviy qayta ishlashga yaroqli sellyuloza olish, uning sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash va polisaxaridlarning karboksimetilli kompozitsiyalarini sintez qilish texnologiyasi ko‘rsatilgan.

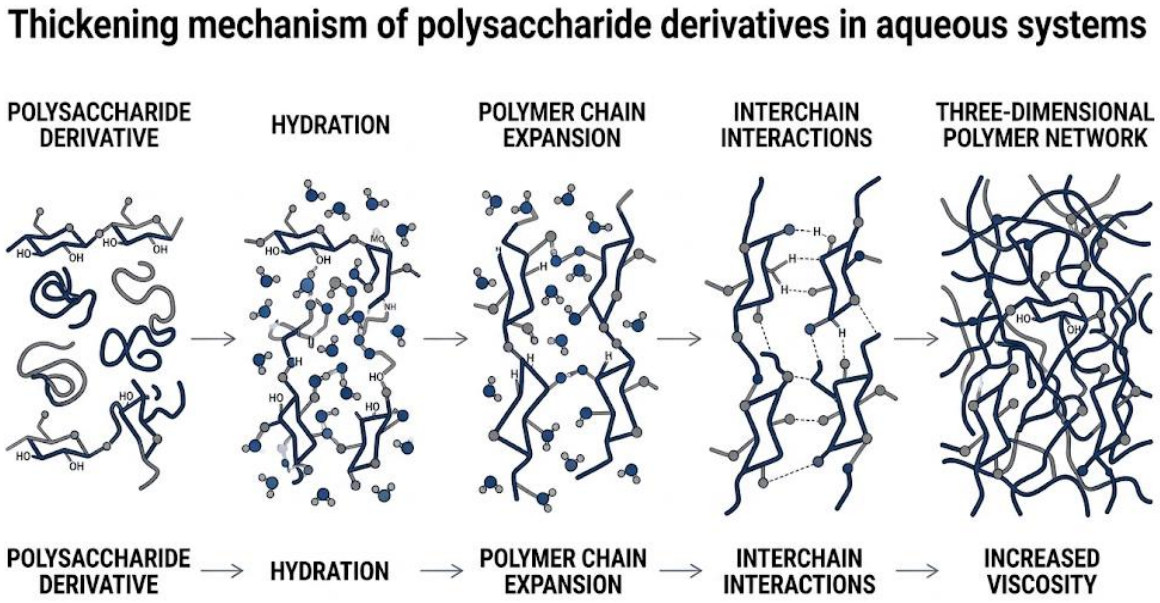
NATIJALAR VA MUHOKAMA

Polisaxaridlarning quyuqlashtiruvchi xususiyatlarining molekulyar asoslari

Quyuqlashtirish hodisasi polisaxarid makromolekulalarining erituvchi bilan o‘zaro ta’siri va eritmada polimer zanjirlarining egallagan gidrodinamik hajmi bilan bog‘liq. Suvli muhitda gidrofil funksional guruhlarning suv molekulalari bilan o‘zaro ta’sirlashuvi polimer zanjirlarining gidratlanishiga olib keladi. Zanjirlarning o‘zaro tutashishi va molekulalararo ta’sirlarning kuchayishi oqimga qarshilikni oshirib, eritmaning ko‘rinadigan qovushqoqligini oshiradi.

Kraxmal holatida qizdirish jarayonida granula shishishi, amiloza komponentining chiqishi va uch o‘lchamli strukturaviy tarmoqning shakllanishi reologik javobni yuzaga keltiradi [1, pp. 7–10]. Shu sababli kraxmalning quyuqlashtirish xususiyati faqat kimyoviy tarkib bilan emas, balki granula morfologiyasi va issiqlik ta’sirida sodir bo‘ladigan strukturaviy o‘zgarishlar bilan ham belgilanadi.

1-rasm. Polisaxaridlarning quyuqlashtirish mexanizmi: “gidratlanish → zanjirlarning kengayishi → makromolekulalararo o‘zaro ta’sir → oqim qarshiligining ortishi”.



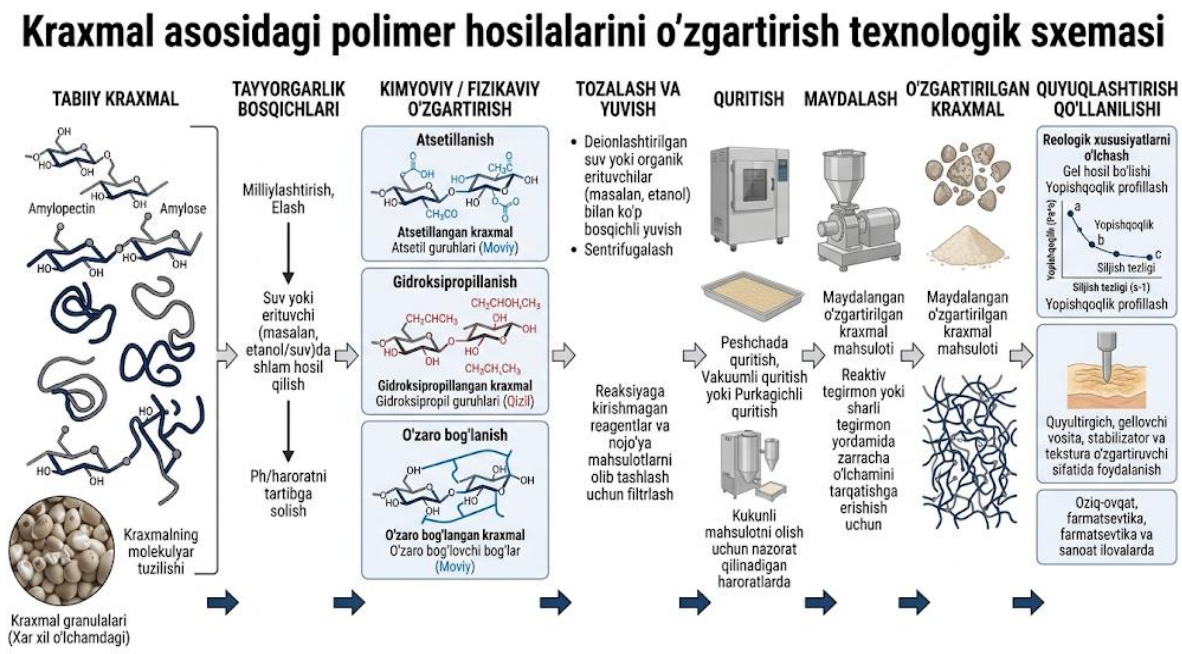
Kraxmalning kimyoviy modifikatsiyasi

Kraxmalni modifikatsiyalashning asosiy maqsadi uning tabiiy holatda mavjud bo‘lgan cheklovlarini kamaytirish va maqsadli funksional xususiyatlarga ega material olishdir. Kimyoviy modifikatsiya usullariga efirlashtirish, esterifikatsiya, ko‘ndalang bog‘lash va graftlash kiradi; oksidlanish va gidroliz esa polisaxarid zanjirining boshqa turdagi kimyoviy transformatsiyalarini ta’minlaydi [1, pp. 2–4].

Asetillash natijasida kraxmalning gidroksil guruhlarining bir qismi asetil guruhlariga almashtiriladi. Zamonaviy sharhda asetillash C-2, C-3 va C-6 pozitsiyalaridagi gidroksil guruhlarini modifikatsiyalashi, substituentlarning joylashishi esa yakuniy funksional xususiyatlarga ta’sir qilishi ko‘rsatilgan [4].

Kraxmal modifikatsiyasining samarasi xomashyoning botanika kelib chiqishi, amyloza/amylopektin nisbati, granula morfologiyasi va modifikatsiyalovchi reagentning turi hamda konsentratsiyasiga bog‘liq [1, pp. 1–4]. Demak, bir xil reagentdan foydalanish turli kraxmal manbalarida bir xil natijani kafolatlamaydi.

2-rasm. Kraxmal modifikatsiyasining umumlashtirilgan sxemasi.



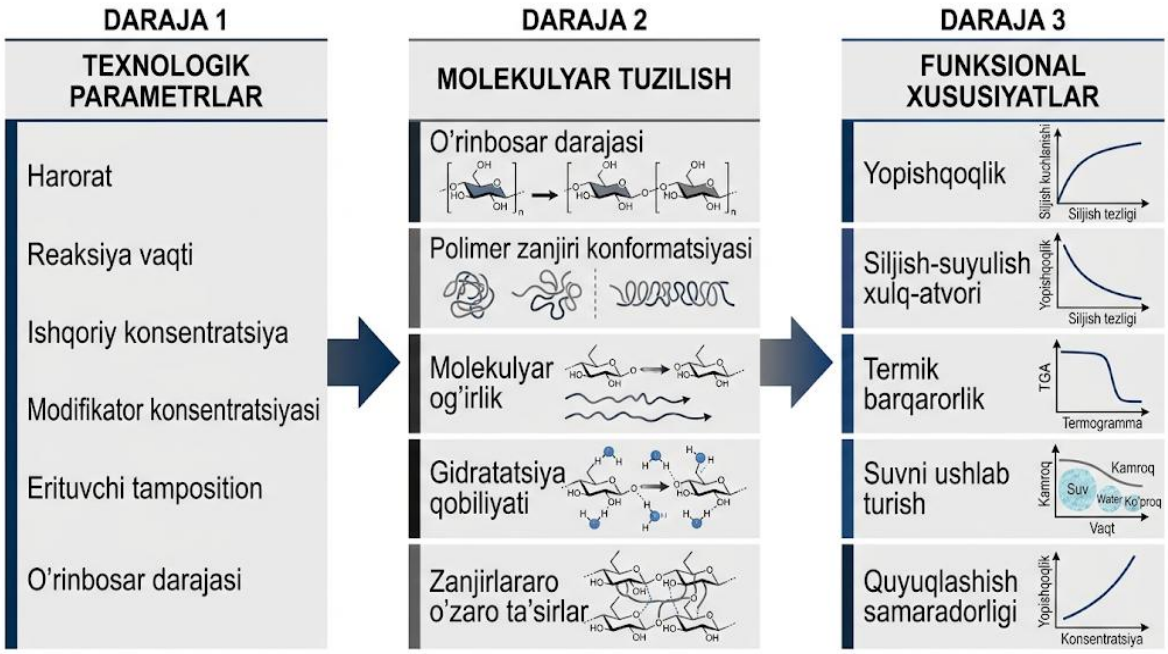
Selluloza hosilalari va efirlashtirish

Sellulozaning kimyoviy modifikatsiyasi uning makromolekulyar tuzilishidagi gidroksil guruhlaridan foydalanishga asoslanadi. Substituentlarning qaysi pozitsiyaga kiritilishi, ularning zanjir bo‘ylab taqsimlanishi va substitutsiya darajasi hosilaning fizik-kimyoviy xususiyatlariga bevosita ta’sir qiladi [2, pp. 1956–1961].

Bu jihatdan karboksimetilsellyuloza, gidroksietilsellyuloza, metilsellyuloza, gidroksipropilsellyuloza va boshqa selluloza efirlari suvli tizimlarning qovushqoqligini boshqarishda muhim materiallar hisoblanadi. Kim va hammualliflarning 2024-yilgi tadqiqotida sellulozani glycidol bilan efirlashtirish orqali suvda eruvchan DHPC hosilasi olingan. Mualliflar jarayonning harorat, vaqt, erituvchi tarkibi va reagent yuklamasiga bog‘liqligini tekshirgan; reaksiyalar 30–40 °C atrofida 1–4 soat davomida olib borilgan [3, pp. 6714–6719].

Mazkur natija polisaxarid hosilasi olish texnologiyasida **reaksiya sharoitlari va yakuniy reologik xususiyatlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni** alohida nazorat qilish zarurligini ko‘rsatadi.

3-rasm. “Texnologik parametr → molekulyar tuzilish → funksional xossa” modeli.



Substitutsiya darajasi va qovushqoqlik

Polisaxarid hosilalarining xossalarini baholashda substitutsiya darajasi (DS) yoki ayrim efirlashtirish jarayonlarida molar substitutsiya (MS) muhim parametr hisoblanadi. Biroq substituent miqdorining ortishi qovushqoqlikning cheksiz ravishda oshishini anglatmaydi. Kim va hammualliflarning tadqiqotida glycidol bilan modifikatsiyalangan selluloza uchun MSning taxminan 1,0–2,0 oralig‘i eruvchanlik va qovushqoqlik o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlagan; mualliflar mahsulot xususiyatlarini jarayon parametrlari bilan bog‘lagan [3, pp. 6714–6715, 6719].

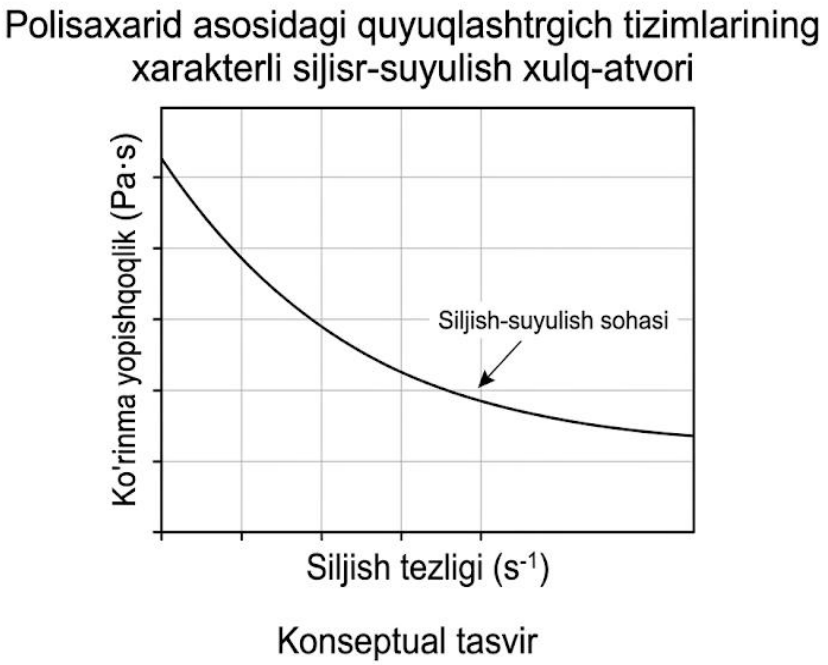
Bu natijadan kelib chiqib, quyuqlashtiruvchi texnologiyasida “ko‘proq substituent = yaxshi mahsulot” kabi soddalashtirilgan yondashuvdan voz kechish zarur. Optimal natija substitutsiya darajasi, molekulyar massa, zanjir konformatsiyasi va suv bilan o‘zaro ta’sirning muvozanatiga bog‘liq.

Reologik xususiyatlarni baholash

Quyuqlashtiruvchining texnologik qiymatini aniqlashda qovushqoqlikning bitta nuqtadagi qiymati yetarli emas. Materialning turli shear rate sharoitlaridagi oqim xatti-harakatini o‘rganish zarur. Ayniqsa, non-Nyuton oqim va shear-thinning xususiyatlari texnologik jarayonlar uchun muhim ko‘rsatkich hisoblanadi.

Abbas va hammualliflarining *ACS Omega* tadqiqotida HEMC asosidagi modifikatsiyalangan sellyuloza efirlarining reologik xususiyatlari 25–130 °C harorat oralig‘ida va turli shear rate sharoitlarida o‘rganilgan [5, pp. 25455, 25461–25462]. Tadqiqotda modifikatsiyalangan namunalar yuqoriroq qovushqoqlik va shear-thinning xatti-harakatini namoyon qilgani qayd etilgan.

4-rasm. Polisaxarid asosidagi quyuqlashtiruvchining tipik shear-thinning modeli.



Izoh: bu yerda grafik umumiy ilmiy model sifatida berilgan. Muallifning real tajriba qiymatlari mavjud bo‘lmagani sababli raqamli eksperimental nuqtalar kiritilmagan.

Abbas va hammualliflarining tadqiqotida 1 wt% HEMC eritmalarining shear rate bo‘yicha o‘lchovlari 30 °C va 90 °C sharoitlarida bajarilgan va modifikatsiyalangan namunalar uchun shear-thinning xatti-harakati kuzatilgan [5, pp. 25461–25462].

Instrumental tavsiflash tizimi

Polisaxarid hosilasini faqat qovushqoqlik orqali tavsiflash uning molekulyar va strukturaviy o‘zgarishlarini to‘liq ochib bermaydi. Shu sababli quyuqlashtiruvchi olish texnologiyasida kompleks instrumental nazorat tizimini qo‘llash maqsadga muvofiq.

FTIR-spektroskopiya yangi funksional guruhlarning paydo bo‘lishi yoki mavjud guruhlar muhitining o‘zgarishini aniqlash uchun ishlatilishi mumkin. XRD kristallik/amorf holatdagi o‘zgarishlarni baholaydi. SEM morfologik o‘zgarishlarni ko‘rsatadi. TGA va DSC esa termik barqarorlikni tavsiflaydi. Reologik o‘lchovlar esa mahsulotning amaliy quyuqlashtirish xususiyatini aniqlaydi. Abbas va hammualliflar HEMC modifikatsiyasini aynan FTIR, NMR, XRD, SEM, TGA, DSC va reologik usullar majmuasi yordamida tavsiflagan [5, pp. 25453–25457, 25459–25462].

Shunday qilib, mahsulot sifatini nazorat qilishning optimal konsepsiyasi:

kimyoviy tuzilish + kristallik + morfologiya + termik barqarorlik + molekulyar massa + reologiya

ko‘rsatkichlarini kompleks baholashdan iborat bo‘lishi kerak.

O‘zbekiston tadqiqotlarining ilmiy-amaliy ahamiyati

O‘zbekistonda polisaxarid hosilalari bo‘yicha bajarilgan tadqiqotlar ushbu yo‘nalishning faqat nazariy emas, balki amaliy-texnologik ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. OAK ma’lumotlariga ko‘ra, Siddiqov tadqiqotida Kaliforniya teragining ikkilamchi xomashyosidan kimyoviy qayta ishlashga yaroqli sellyuloza olish uchun mexanik yanchish va ishqoriy ishlov berish bosqichlari o‘rganilgan. Tadqiqotda olingan sellyulozaning unumi 54,6%, kul miqdori

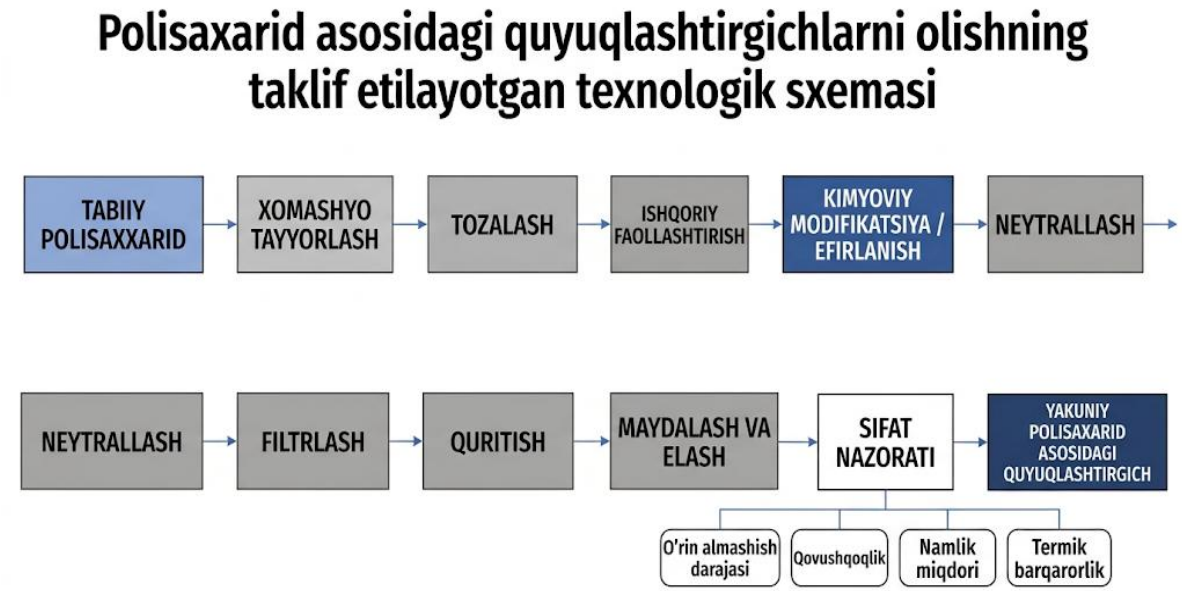
0,93%, α-sellyuloza miqdori 94,8% va polimerlanish darajasi 1050 ekani qayd etilgan. Shuningdek, terak sellyulozasi, paxta sellyulozasi va kraxmal asosida turli markadagi karboksimetilli kompozitsiyalar olish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Mazkur natijalar biz taklif qilayotgan texnologik model uchun muhim mahalliy ilmiy asos yaratadi. Chunki quyuqlashtiruvchi olishda xomashyoning kimyoviy tozaligi, α-sellyuloza miqdori va polimerlanish darajasi keyingi modifikatsiya jarayonining samaradorligiga ta'sir qilishi mumkin.

Polisaxarid hosilalari asosida quyuqlashtiruvchi olishning taklif etilayotgan texnologiyasi

Ilmiy manbalar sintezi asosida quyidagi texnologik ketma-ketlik taklif qilinadi:

5-rasm. Polisaxarid hosilasi asosida quyuqlashtiruvchi olishning texnologik sxemasi.



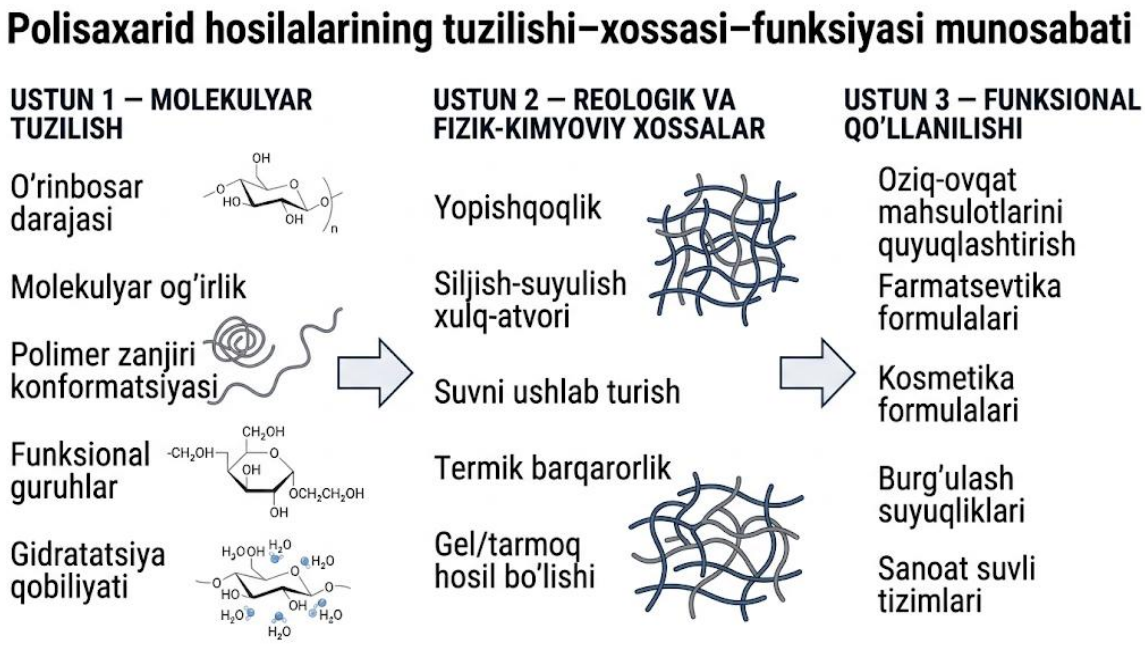
Mazkur sxemada modifikatsiya bosqichi texnologik jarayonning markaziy elementi hisoblanadi. Chunki aynan shu bosqichda xomashyo makromolekulasining kimyoviy tuzilishi va keyingi suvli tizimdagi funksional xususiyatlari shakllanadi. Kim va hammualliflarning 2024-yilgi tadqiqotida ham reagent yuklamasi, reaksiya vaqti, harorat va erituvchi tarkibini boshqarish orqali sellyuloza efirining eruvchanligi va qovushqoqligini optimallashtirish mumkinligi ko'rsatilgan [3, pp. 6714–6719].

Shu bilan birga, mahalliy xomashyodan foydalanishda xomashyoning oldindan tayyorlanish darajasi alohida nazorat qilinishi kerak. Siddiqov tadqiqotidagi sellyuloza olish jarayonining texnologik parametrlarining belgilanganligi bu bosqichning keyingi modifikatsiya uchun muhimligini ko'rsatadi.

"Tuzilish–xossa–funksiya" konsepsiyasi

O'rganilgan ilmiy manbalarni umumlashtirish natijasida polisaxarid hosilalari asosidagi quyuqlashtiruvchilarning funksional xususiyatlarini quyidagi uch bosqichli tizim orqali ifodalash mumkin:

6-rasm. Polisaxarid hosilalarida "Tuzilish–xossa–funksiya" modeli.



7-

Ushbu konsepsiyaning afzalligi shundaki, quyuqlashtiruvchi samaradorligi alohida bitta ko‘rsatkich bilan emas, balki molekulyar tuzilishdan tortib amaliy reologik xususiyatgacha bo‘lgan uzluksiz sabab–natija zanjiri sifatida qaraladi.

XULOSA

Ilmiy adabiyotlar va O‘zbekistonda olib borilgan tadqiqotlar tahlili asosida polisaxaridlar hosilalari funksional quyuqlashtiruvchilar olish uchun ilmiy va texnologik jihatdan istiqbolli materiallar ekanligi asoslandi. Ularning samaradorligi polisaxaridning tabiiy kelib chiqishi bilan cheklanmay, molekulyar massa, funksional guruhlarning tabiati, substitutsiya darajasi, zanjir konformatsiyasi, gidratlanish qobiliyati va molekulalararo o‘zaro ta’sirlarning kompleks ta’siri bilan belgilanadi [1, pp. 1–4; 2, pp. 1956–1961].

Kraxmalni asetillash, gidroksipropillash va ko‘ndalang bog‘lash orqali uning funksional va reologik xususiyatlarini boshqarish mumkin. Bunda modifikatsiyaning samarasi xomashyo turi, amyloza/amylopektin nisbati, granula morfologiyasi, reagent turi va reaksiya sharoitlariga bog‘liq [1, pp. 1–4].

Selluloza hosilalarida esa efirlashtirish va boshqa kimyoviy transformatsiyalar orqali suvda eruvchanlik va reologik faollikni oshirish mumkin. Zamonaviy tadqiqotlarda jarayon parametrlari va hosil bo‘lgan polimerning qovushqoqligi o‘rtasidagi bog‘liqlik eksperimental ravishda ko‘rsatilgan [3, pp. 6714–6719].

O‘zbekiston sharoitida ikkilamchi sellyulozali xomashyodan polisaxaridlarning karboksimetilli kompozitsiyalarini olish bo‘yicha ilmiy natijalar mavjudligi mahalliy xomashyo bazasidan funksional quyuqlashtiruvchilar olish imkoniyatini kengaytiradi. Siddiqovning OAKda qayd etilgan tadqiqoti xomashyoni tayyorlash, sellyuloza olish, karboksimetilli kompozitsiyalar sintezi va ularni amaliy tizimlarda qo‘llashning texnologik asoslari mavjudligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalarini umumlashtirib, polisaxarid xomashyosini tayyorlash, ishqoriy faollashtirish, kimyoviy modifikatsiyalash, neytrallash, yuvish, quritish, maydalash, instrumental tavsiflash va reologik nazorat bosqichlarini birlashtiruvchi texnologik model

taklif etildi. Kelgusida ushbu modelni eksperimental jihatdan tekshirishda tajribani matematik rejalashtirish, DS/MS–molekulyar massa–qovushqoqlik bog‘liqligini aniqlash, FTIR/XRD/TGA/DSC/SEM natijalarini reologik parametrlar bilan korrelyatsiyalash hamda optimal texnologik rejimni aniqlash muhim yo‘nalish bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Singh N., Kaur L., McCarthy O.J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids.** 2007. Vol. 21, Issue 1. P. 1–22. DOI: **10.1016/j.foodhyd.2006.02.006**.
2. Fox S.C., Li B., Xu D., Edgar K.J. Regioselective Esterification and Etherification of Cellulose: A Review. **Biomacromolecules.** 2011. Vol. 12, No. 6. P. 1956–1972. DOI: **10.1021/bm200260d**.
3. Kim J., Rackstraw N.B., Weinstein T.J., et al. Cellulose Etherification with Glycidol for Aqueous Rheology Modification. **ACS Applied Polymer Materials.** 2024. Vol. 6, No. 11. P. 6714–6725. DOI: **10.1021/acsapm.4c01002**.
4. Chi C., Lian S., Zou Y., et al. Preparation, multi-scale structures, and functionalities of acetylated starch: An updated review. **International Journal of Biological Macromolecules.** 2023. Vol. 249. Article 126142. DOI: **10.1016/j.ijbiomac.2023.126142**.
5. Abbas G., Tunio A.H., Memon K.R., Mahesar A.A., Memon F.H., Abbasi G.R. Modification of Cellulose Ether with Organic Carbonate for Enhanced Thermal and Rheological Properties: Characterization and Analysis. **ACS Omega.** 2023. Vol. 8, No. 28. P. 25453–25466. DOI: **10.1021/acsomega.3c02974**.
6. Siddiqov M.A. **Polisaxaridlarning karboksimetilli kompozisiyalarini sintezi va ularni qo‘llanilish sohalari.** 02.00.14 — Organik moddalar va ular asosida materiallar texnologiyasi. PhD dissertatsiyasi. Termiz davlat universiteti. 2025. O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi.