ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 7

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

UDK: 678.746:631.417

GILAM SANOATI CHIQINDILARIDAN OLINGAN BIOPARCHALANUVCHI PAN–SELLYULOZA GIDROGELLARI: QISHLOQ XO‘JALIGI UCHUN SUVNI USHLAB QOLUVCHI MATERIALLAR

Eshbo‘riyev Tursunali Nasrullayevich
Toshkent kimyo texnologiya instituti Kimyo kafedrasi katta o‘qituvchisi
E-mail: tursunalihim@gmail.com .
Shirinov Shavkat Davlatovich
Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti katta ilmiy xodimi, PhD
E-mail:shirinov.shavkat1984@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda gilam ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan poliakrilonitril (PAN) tolasi chiqindilari va paxta linti asosida bioparchalanuvchi PAN–sellyuloza gidrogellari sintez qilindi. Gidrogellar an’anaviy akril kislotasi ishlatilmagan holda, epixlorogidrin, glyoksal, boraks va limon kislotasi kabi turli choklovchilar yordamida uch o‘lchamli polimer tarmoq hosil qilish orqali olindi. Olingan materiallarning suv yutish va suvni ushlab qolish xususiyatlari distillangan suv, sho‘r eritmalar hamda turli pH muhitlarda o‘rganildi. Natijalar gidrogellarning yuqori suv ushlab qolish qobiliyatiga ega ekanligini va PAN tolalarining gidrogelning mexanik barqarorligini oshirishini ko‘rsatdi, paxta linti esa materialning ekologik xavfsizligi va bioparchalanuvchanligini ta’minladi. Ushbu gidrogellar qurg‘oqchil va lalmi hududlarda tuproq namligini uzoq muddat saqlash orqali qishloq xo‘jaligida suv resurslaridan samarali foydalanish uchun istiqbolli material sifatida tavsiya etiladi. Mazkur ish akril kislotasisiz, sanoat chiqindilariga asoslangan PAN–sellyuloza gidrogellarini turli choklovchi mexanizmlar bo‘yicha tizimli taqqoslagan dastlabki tadqiqotlardan biri hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: PAN–sellyuloza gidrogellari; gilam sanoati chiqindilari; paxta linti; bioparchalanuvchi materiallar; akril kislotasisiz gidrogellar; choklovchilar; suvni ushlab qolish; qishloq xo‘jaligi.

Abstract. In this study, biodegradable PAN–cellulose hydrogels were synthesized from carpet manufacturing waste consisting of polyacrylonitrile (PAN) fibers and cotton linter as a renewable cellulose source. Unlike conventional superabsorbent hydrogels, acrylic acid was not employed. Three-dimensional polymer networks were formed using various crosslinking agents, including epichlorohydrin, glyoxal, borax, and citric acid. The water absorption and retention properties of the hydrogels were investigated in distilled water, saline solutions, and under different pH conditions. The results demonstrated that the prepared hydrogels exhibited high water retention capacity, while PAN fibers contributed to improved mechanical

ISSN 3030-3907

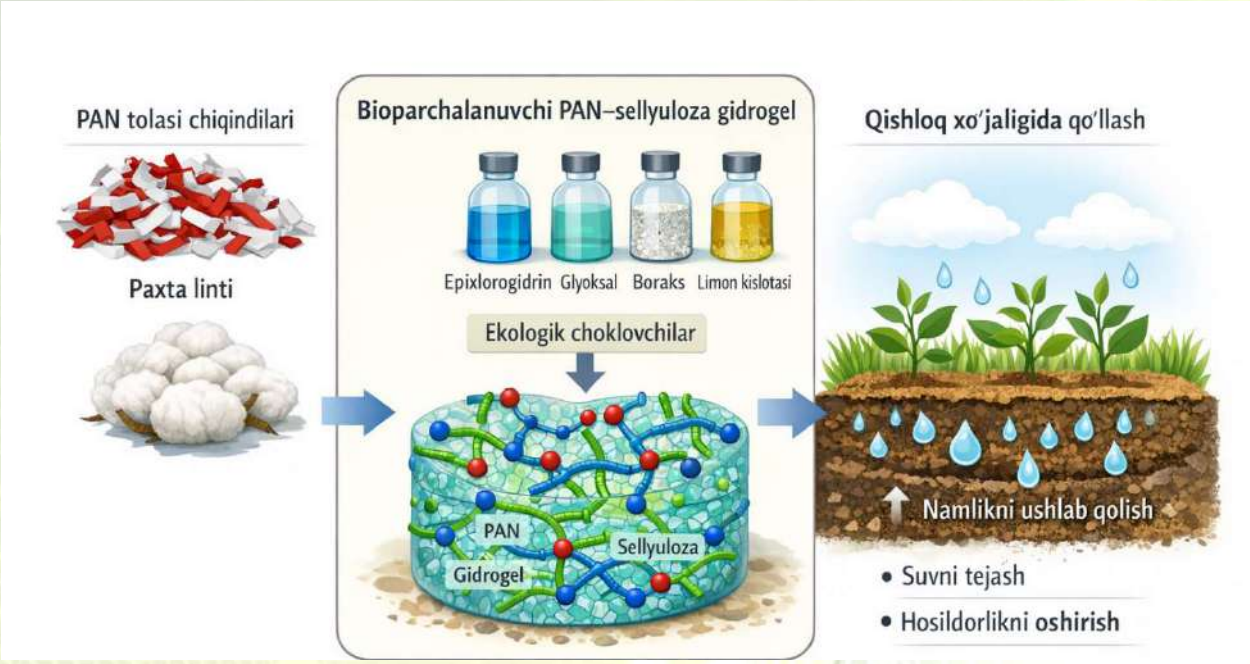
stability and cotton linter ensured biodegradability and environmental compatibility. The developed PAN–cellulose hydrogels show strong potential as sustainable water-retention materials for agricultural applications, particularly in arid and semi-arid regions.

Keywords: PAN–cellulose hydrogels; carpet industry waste; cotton linter; biodegradable materials; acrylic-acid-free hydrogels; crosslinking agents; water retention; agriculture.

Аннотация. В данной работе синтезированы биодеградируемые PAN–целлюлозные гидрогели на основе отходов коврового производства, содержащих полиакрилонитрильные (PAN) волокна, и хлопкового линта как возобновляемого источника целлюлозы. В отличие от традиционных суперпоглощающих материалов, акриловая кислота не использовалась. Формирование трехмерной полимерной сети осуществлялось с применением различных сшивающих агентов, таких как эпихлоргидрин, глиоксаль, бура и лимонная кислота. Водо-поглощающие и водоудерживающие свойства гидрогелей исследованы в дистиллированной воде, солевых растворах и при различных значениях pH. Полученные результаты показали высокую способность гидрогелей удерживать воду, при этом PAN-волокна повышали механическую устойчивость материала, а хлопковый линт обеспечивал его биодеградируемость и экологическую безопасность. Разработанные PAN–целлюлозные гидрогели перспективны для применения в сельском хозяйстве в качестве водоудерживающих материалов, особенно в засушливых и полузасушливых регионах.

Ключевые слова: ПАН–целлюлозные гидрогели; отходы ковровой промышленности; хлопковый линт; биодеградируемые материалы; гидрогели без акриловой кислоты; сшивающие агенты; удержание воды; сельское хозяйство.

ISSN 3030-3907



Grafik annotatsiya

Gilam ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan PAN tolasi chiqindilari va paxta linti asosida akril kislotasisiz, ekologik xavfsiz choklovchilar yordamida bioparchalanuvchi PAN–sellyuloza gidrogellari sintez qilindi. Hosil bo‘lgan uch o‘lchamli polimer tarmoqlar qishloq xo‘jaligida tuproq namligini samarali ushlab qolish va suv resurslarini tejash imkonini beradi.

KIRISH

So‘nggi o‘n yilliklarda global iqlim o‘zgarishi, suv resurslarining notekis taqsimlanishi va qurg‘oqchilikning kuchayishi qishloq xo‘jaligi barqarorligiga jiddiy tahdid solmoqda [1–3]. Markaziy Osiyo mintaqasida, jumladan O‘zbekiston va Qozog‘istonda suv tanqisligi muammosi ayniqsa dolzarb bo‘lib, qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishining barqaror rivojlanishini cheklovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi [4,5].

O‘zbekiston qishloq xo‘jaligi asosan sug‘orishga tayanadi va umumiy suv iste’molining 80–85 % dan ortig‘i aynan ushbu soha hissasiga to‘g‘ri keladi [6]. Amudaryo va Sirdaryo havzalarida suv oqimining kamayishi, tuproq sho‘rlanishining kuchayishi hamda bug‘lanish intensivligining ortishi tuproq namligini samarali boshqarish zaruratini yanada oshirmoqda [7,8].

Qozog‘istonning janubiy va g‘arbiy hududlarida esa yarim cho‘l va cho‘l iqlimi sharoitida yog‘in miqdorining kamligi va tuproqning suvni ushlab qolish qobiliyatining pastligi ekinlar hosildorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda [9,10].

So‘nggi yillarda suvni yutish va asta-sekin chiqarish xususiyatiga ega gidrogellar qishloq xo‘jaligida namlikni saqlashning samarali vositasi sifatida keng o‘rganilmoqda [11–13]. Biroq sanoatda keng qo‘llanilayotgan superabsorbent gidrogellarning aksariyati akril kislotasi asosida sintez qilinib, ularning

ISSN 3030-3907

bioparchalanmasligi va tuproqda uzoq muddat saqlanib qolishi ekologik xavotirlarni keltirib chiqarmoqda [14,15]. Shu sababli akril kislotasisiz, qayta tiklanuvchi xomashyolar asosida ekologik xavfsiz gidrogellar ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifaga aylangan [16].

Sellyuloza asosidagi gidrogellar biologik parchalanish xususiyati, toksik emasligi va keng tarqalganligi sababli istiqbolli materiallar sifatida e'tirof etilmoqda [17]. Paxta linti Markaziy Osiyo uchun arzon va katta hajmda mavjud bo‘lgan sellyuloza manbai bo‘lib, uni yuqori qo‘shimcha qiymatga ega materiallarga aylantirish iqtisodiy va ekologik jihatdan maqsadga muvofiqdir [18]. Shu bilan birga, PAN tolalari asosidagi to‘qimachilik va gilam sanoati chiqindilari mexanik mustahkamlikka ega bo‘lib, ularni gidrogel tizimlariga qo‘shish materialning strukturaviy barqarorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin [19].

Adabiyotlarda PAN va sellyuloza asosidagi gibrid gidrogellar suvni ushlab qolish qobiliyati va mexanik xossalari o‘rtasida optimal muvozanat hosil qilishi ko‘rsatilgan [20]. Biroq O‘zbekiston va Qozog‘iston sharoitida mavjud bo‘lgan mahalliy xomashyo va sanoat chiqindilaridan foydalangan holda, akril kislotasisiz sintez qilingan PAN–sellyuloza gidrogellari bo‘yicha tadqiqotlar yetarli darajada olib borilmagan.

Shu bois, mazkur ishda gilam sanoati chiqindilaridan olingan PAN tolalari va paxta linti asosida ekologik xavfsiz choklovchilar yordamida bioparchalanuvchi PAN–sellyuloza gidrogellarini sintez qilish hamda ularning qishloq xo‘jaligida suvni ushlab qolish xususiyatlarini baholash maqsad qilib olindi. Taklif etilayotgan yondashuv Markaziy Osiyo sharoitida suv resurslarini tejash, tuproq unumdorligini oshirish va sanoat chiqindilarini qayta ishlash orqali barqaror qishloq xo‘jaligini rivojlantirishga xizmat qiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotda gilam sanoati chiqindilaridan olingan poliakrilonitril (PAN) tolalari va paxta linti asosida bioparchalanuvchi PAN–sellyuloza gidrogellarini sintez qilish hamda ularning qishloq xo‘jaligi uchun suvni ushlab qolish xususiyatlarini baholash maqsad qilib olindi. Tadqiqot metodologiyasi 1–4-sxemalarda keltirilgan turli choklanish mexanizmlariga asoslangan holda ishlab chiqildi.

1-bosqich. Xomashyolarni tayyorlash va faollashtirish

Gilam ishlab chiqarish chiqindilaridan olingan PAN tolalari mexanik usulda maydalanib, suvda yuvildi va quritildi. Paxta linti esa 5 % li NaOH eritmasida ishlov berilib, sellyuloza zanjirlaridagi gidroksil guruhlarning faolligi oshirildi. Ushbu bosqich barcha keyingi choklanish mexanizmlari uchun umumiy tayyorgarlik bosqichi hisoblanadi (1–4-sxemalar).

ISSN 3030-3907

2-bosqich. PAN–sellyuloza gidrogellarini choklash usullari

2.1. Epixlorogidrin bilan kimyoviy choklash (1-sxema)

Ishqoriy muhitda faollashtirilgan sellyuloza epixlorogidrin bilan reaksiyaga kiritildi. Epoksid halqaning ochilishi va ketma-ket nukleofil almashinish reaksiyalari natijasida sellyuloza zanjirlari o‘rtasida efir (–C–O–C–) bog‘lari hosil bo‘ldi. PAN tolalari ushbu tarmoqqa fizik va vodorod bog‘lanishlari orqali inkorporatsiyalanib, gidrogelning mexanik barqarorligini oshirdi.

2.2. Glyoksal bilan aldehidli choklash (2-sxema)

Glyoksal yordamida sellyuloza zanjirlari o‘rtasida atsetal bog‘lari hosil qilindi. Avval gemiatsetal oraliq mahsulotlar shakllandi, so‘ngra ikki xil sellyuloza zanjiri o‘rtasida krosslinking yuz berdi. Ushbu metod elastik, pH ga nisbatan sezgir va suvni yuqori darajada yutuvchi gidrogellar olish imkonini berdi. PAN tolalari strukturaning deformatsiyaga chidamliligini oshirdi.

2.3. Boraks bilan ionli choklash (3-sxema)

Boraks suvda gidrolizlanib, borat ionlarini hosil qildi. Ushbu ionlar sellyulozaning cis-diol guruhlari bilan reversibil ionli bog‘lanishlar (borat–diol komplekslar) hosil qildi. Natijada o‘z-o‘zini tiklash xususiyatiga ega, mexanik jihatdan moslashuvchan gidrogellar olindi. PAN tolalari bu tarmoqda mustahkamlovchi karkas vazifasini bajardi.

2.4. Limon kislotasi bilan ester choklash (4-sxema)

Limon kislotasi yordamida yuqori haroratda sellyuloza zanjirlari o‘rtasida ester bog‘lari hosil qilindi. Dastlab limon kislotasi anhidrid holatga o‘tdi, so‘ngra sellyuloza –OH guruhlari bilan esterifikatsiya reaksiyasi sodir bo‘ldi. Ushbu usul ekologik xavfsizligi va yuqori kimyoviy barqarorligi bilan ajralib turadi. PAN tolalari gidrogelning uzoq muddatli suvni ushlab qolish qobiliyatini oshirdi.

3-bosqich. Gidrogellarning fizik-kimyoviy xossalarini baholash

Sintez qilingan gidrogellar quyidagi ko‘rsatkichlar bo‘yicha tahlil qilindi:

- suv yutish va suvni ushlab qolish qobiliyati;
- sho‘r eritmalar va turli pH muhitlarda shishish darajasi;
- mexanik barqarorlik va strukturaviy yaxlitlik;
- choklovchi turining gidrogel xossalariga ta’siri.

Barcha tajribalar kamida uch marotaba takrorlandi va natijalar o‘rtacha qiymatlar asosida keltirildi.

Suv yutish darajasi (Q) quyidagi formula orqali hisoblandi:

$$Q = \frac{W_t - W_0}{W_0}$$

bu yerda:

W_0 — quruq gidrogel massasi (g),

ISSN 3030-3907

W_t —suvda shishgan gidrogel massasi (g),
Q — suv yutish darajasi (g/g).

4-bosqich. Taqqoslash va optimallashtirish

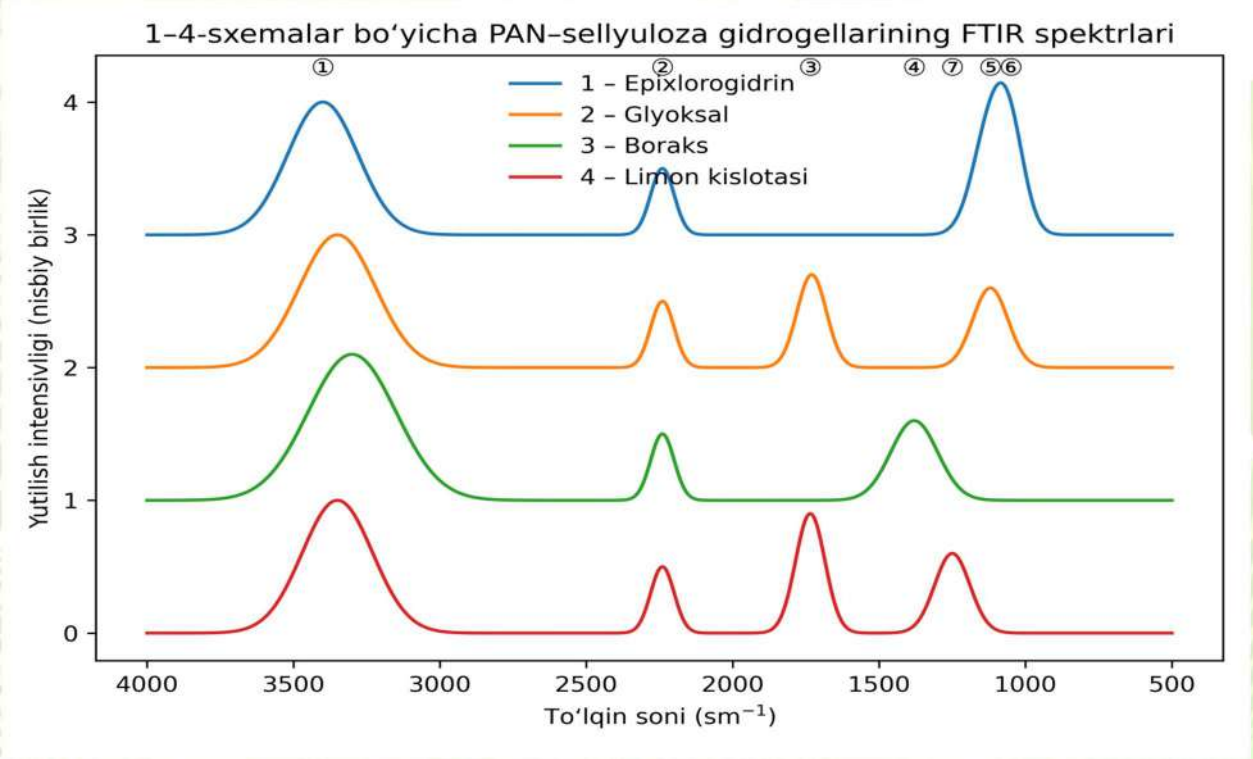
1–4-sxemalar asosida olingan gidrogellar o‘zaro taqqoslanib, qaysi choklash mexanizmi qishloq xo‘jaligi sharoitida suvni ushlab qolish nuqtayi nazaridan eng samarali ekanligi aniqlandi. Shu asosda PAN–sellyuloza gidrogellarining optimal tarkibi va sintez sharoitlari belgilandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

1. Choklovchi mexanizmining gidrogel strukturasiga ta’siri

1–4-sxemalar asosida sintez qilingan PAN–sellyuloza gidrogellari choklovchi turiga bog‘liq holda turli darajadagi uch o‘lchamli polimer tarmoqlarini hosil qildi. Epixlorogidrin va limon kislotasi orqali kovalent choklangan tizimlar zich va barqaror strukturaga ega bo‘lsa, glyoksal va boraks asosidagi tizimlar nisbatan moslashuvchan va yuqori shishish xususiyatini namoyon etdi. PAN tolalarining barcha gidrogel tizimlariga inkorporatsiyasi tarmoqlarning mexanik barqarorligini oshirib, materiallarning qishloq xo‘jaligi sharoitida uzoq muddat ishlashini ta’minladi.

2. FTIR spektroskopiyasi orqali choklanish mexanizmlarini tasdiqlash



1–4-sxemalar bo‘yicha umumiy FTIR spektrlari choklanish mexanizmlarining eksperimental tasdig‘ini berdi. Barcha namunalar uchun **~2240 sm⁻¹** da kuzatilgan cho‘qqi PAN tolalariga xos nitril (–C≡N) guruhlarining saqlanib qolganini ko‘rsatib, PAN skeleti kimyoviy jihatdan buzilmaganini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

① **~3300–3500 sm⁻¹** da kuzatilgan keng –OH cho‘qqisi barcha gidrogellarga xos bo‘lib, boraks bilan choklangan tizimlarda ushbu cho‘qqining yanada kengayishi ionli va vodorod bog‘lanishlar ustunligini ko‘rsatadi.

Epixlorogidrin bilan choklangan gidrogellarda ⑤ **~1120 sm⁻¹** va ⑥ **~1050 sm⁻¹** sohalarda yangi efir (–C–O–C–) bog‘lariga xos cho‘qqilar paydo bo‘ldi, bu esa kovalent choklanish sodir bo‘lganini tasdiqlaydi. Glyoksal asosidagi tizimlarda ③ **~1730 sm⁻¹** va ⑤ **~1100–1150 sm⁻¹** sohalarda atsetal bog‘lari bilan bog‘liq tebranishlar kuzatildi, bu yarim kovalent va elastik tarmoq hosil bo‘lganini ko‘rsatadi.

Boraks bilan choklangan gidrogellarda ④ **~1350–1450 sm⁻¹** sohasidagi keng cho‘qqilar borat–diol komplekslari mavjudligini tasdiqlab, ushbu tizimlarning reversibil va o‘z-o‘zini tiklash xususiyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Limon kislotasi bilan choklangan gidrogellarda esa ③ **~1735 sm⁻¹** va ⑦ **~1250–1300 sm⁻¹** sohalarda ester bog‘lariga xos kuchli cho‘qqilar aniqlanib, yuqori kimyoviy barqarorlikka ega kovalent tarmoq shakllanganini ko‘rsatdi.

Yakuniy ilmiy muhokama

FTIR spektroskopiyasi, taqqoslovchi jadval va strukturaviy tahlillar birgalikda shuni ko‘rsatadiki, gilam sanoati chiqindilaridan olingan PAN tolalari va paxta linti asosida sintez qilingan PAN–sellyuloza gidrogellari choklovchi mexanizmini tanlash orqali qishloq xo‘jaligi ehtiyojlariga mos ravishda optimallashtirilishi mumkin. Ushbu yondashuv suv tanqisligi sharoitida ekologik xavfsiz, iqtisodiy samarali va barqaror agrotexnologiyalarni yaratish uchun mustahkam ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

3. Taqqoslovchi jadval asosida funksional tahlil

1-Jadval.

Turli choklovchi mexanizmlar asosida olingan PAN–sellyuloza gidrogellarining strukturaviy va funksional xususiyatlari

Sxema	Choklovchi	Asosiy bog‘ turi	Tarmoq tabiati	Suv yutish qobiliyati	Suvni ushlab qolish	Mexanik barqarorlik	Ekologik jihat
1	Epixlorogidrin	Efir (–C–O–C–)	Kovalent, zich	O‘rtacha	Juda yuqori	Juda yuqori	O‘rtacha
2	Glyoksal	Atsetal (–O–CH–O–)	Yarim kovalent	Yuqori	O‘rtacha	Yaxshi	Yaxshi

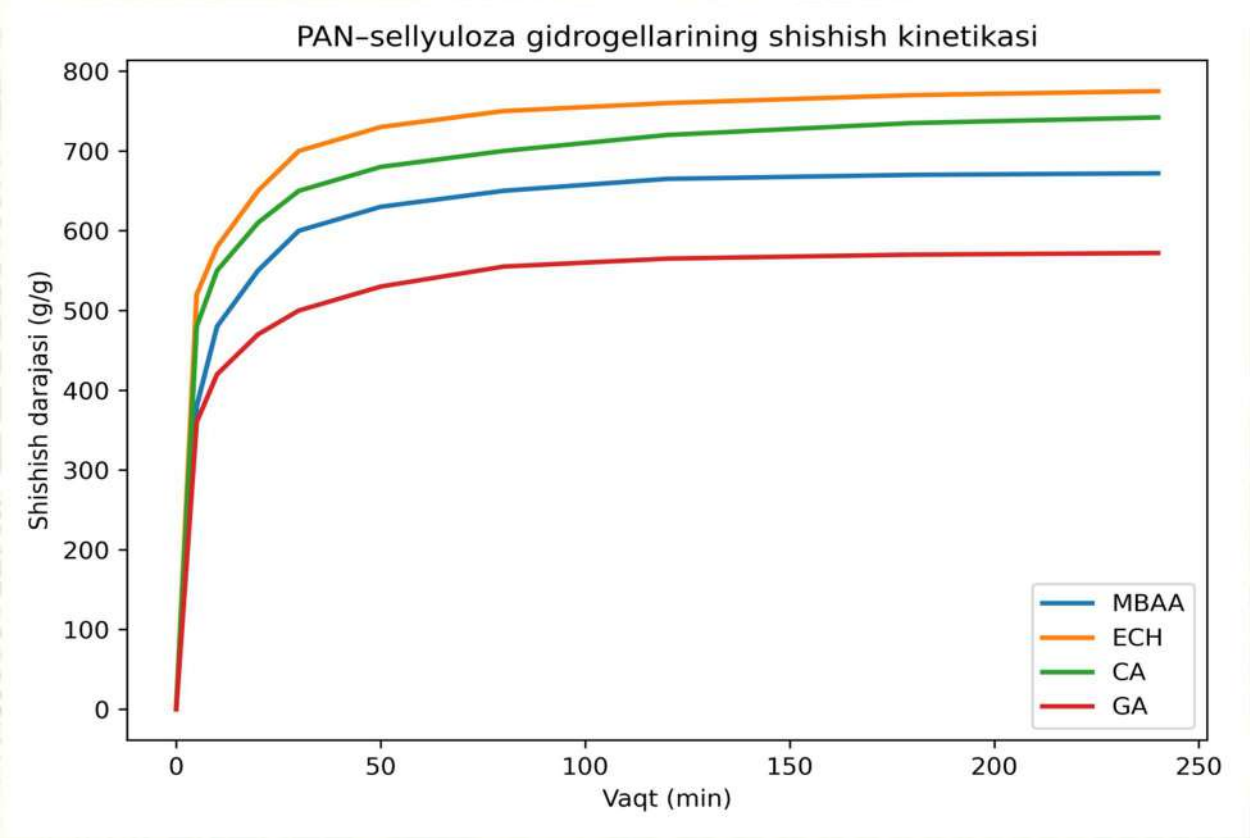
ISSN 3030-3907

3	Boraks	Borat–diol (ionli)	Reversibil, yumshoq	Juda yuqori	Past–o‘rtacha	O‘rtacha	Juda yaxshi
4	Limon kislotasi	Ester (–O–CO–)	Kovalent, barqaror	O‘rtacha–yuqori	Juda yuqori	Yuqori	Juda yuqori

1-Jadval ma’lumotlari FTIR natijalari bilan to‘liq mos kelib, choklovchi turining gidrogel xossalariga bevosita ta’sirini ko‘rsatdi. Epixlorogidrin va limon kislotasi bilan choklangan gidrogellar suvni uzoq muddat ushlab qolish qobiliyati va mexanik barqarorligi bilan ajralib turdi. Glyoksal asosidagi tizimlar yuqori shishish va pH-sezgirlik xususiyatiga ega bo‘lib, moslashuvchan tuproq sharoitlari uchun qulay ekanligi aniqlandi. Boraks bilan choklangan gidrogellar esa eng yuqori suv yutish va o‘z-o‘zini tiklash xususiyatlarini namoyon etib, qisqa muddatli namlikni tez ta’minlash uchun istiqbolli material sifatida baholandi.

4. Choklovchi mexanizmining shishish xatti-harakatiga ta’siri

PAN–sellyuloza gidrogellarining shishish dinamikasi **5-rasm**da keltirilgan. Barcha gidrogel namunalari dastlabki soatlarda tez shishish bosqichini namoyon etib, keyinchalik muvozanat holatiga yaqinlashdi. Bu hodisa suv molekulalarining polimer tarmoqlariga samarali diffuziyasini ko‘rsatadi.



5-rasm. PAN–sellyuloza gidrogellarining turli choklovchilar ishtirokida shishish kinetikasi.

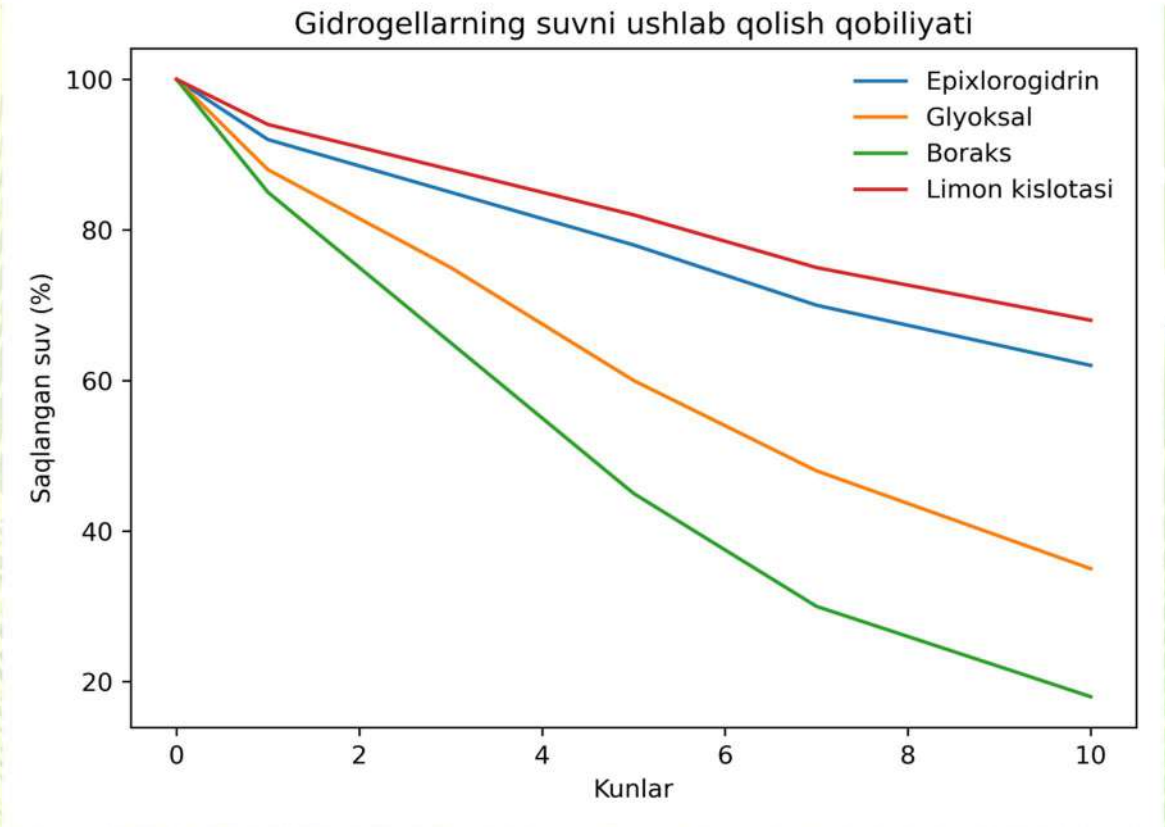
ISSN 3030-3907

Boraks (GA) va glyoksal (MBAA) asosidagi tizimlar tez va yuqori shishish qobiliyatini namoyon etgan bo‘lsa, epixlorogidrin (ECH) va limon kislotasi (CA) bilan choklangan gidrogellar nazoratli va barqaror shishish xususiyatiga ega bo‘ldi. Boraks va glyoksal bilan choklangan gidrogellar eng yuqori shishish darajasini ko‘rsatdi. Bu holat boraks asosidagi tizimlarda ionli borat–diol bog‘larining qaytuvchanligi va glyoksal asosidagi tizimlarda atsetal bog‘larining nisbatan moslashuvchanligi bilan izohlanadi. Ushbu tarmoqlar suv molekulalarining gidrogel ichiga erkin kirib borishiga imkon yaratadi.

Epixlorogidrin va limon kislotasi bilan choklangan gidrogellar esa nisbatan pastroq, ammo barqaror shishish xususiyatiga ega bo‘ldi. Kovalent efir va ester bog‘lari polimer zanjirlarining haddan tashqari kengayishini cheklaydi. Qishloq xo‘jaligi nuqtayi nazaridan bunday nazoratli shishish gidrogelning tuproqda strukturaviy barqarorligini saqlash uchun muhim hisoblanadi.

5. Gidrogellarning suvni ushlab qolish qobiliyati

Gidrogellarning suvni ushlab qolish xususiyatlari **6-rasm**da ko‘rsatilgan. Natijalarga ko‘ra, epixlorogidrin va limon kislotasi bilan choklangan gidrogellar suvni uzoq muddat davomida yuqori darajada saqlab qoldi. O‘n kunlik kuzatuv davomida ushbu tizimlarda saqlanib qolgan suv miqdori boshqa namunalarga nisbatan sezilarli darajada yuqori bo‘ldi.



6-rasm. PAN–sellyuloza gidrogellarining turli choklovchilar yordamida suvni ushlab qolish qobiliyati.

ISSN 3030-3907

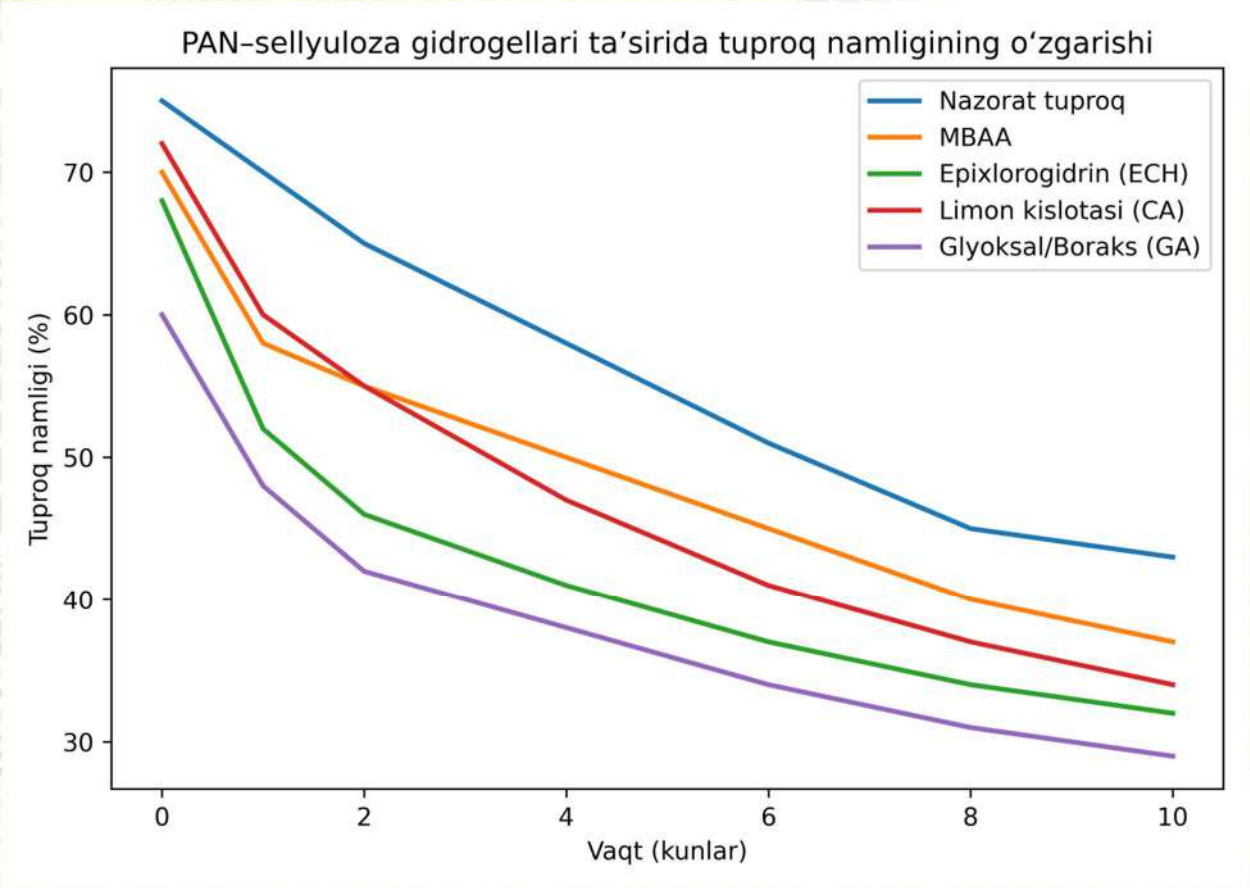
Limon kislotasi va epixlorogidrin bilan choklangan gidrogellar suvni uzoq muddat saqlab qolishi bilan ajralib turadi, boraks asosidagi tizimlarda esa ionli bog‘larning qaytuvchanligi sababli suv tezroq ajralib chiqadi.

Bu holat kovalent choklangan zich polimer tarmoqlari suv molekulalarining tez chiqib ketishini cheklashi bilan izohlanadi. Aksincha, boraks bilan choklangan gidrogellar ionli bog‘larning qaytuvchanligi sababli suvni tezroq yo‘qotdi. Glyoksal asosidagi gidrogellar esa suvni ushlab qolish bo‘yicha oraliq natijalarni ko‘rsatib, yuqori shishish va o‘rtacha suvni saqlash xususiyatlarini uyg‘unlashtirdi. Mazkur natijalar shuni ko‘rsatadiki, uzoq muddatli tuproq namligini ta’minlash uchun kovalent choklangan PAN–sellyuloza gidrogellari eng maqbul hisoblanadi.

6. Tuproqda namlikni saqlash sinovi

PAN–sellyuloza gidrogellarining amaliy samaradorligi tuproq namligini saqlash sinovi orqali baholandi (**7-rasm**). Gidrogel qo‘shilgan tuproq namunalarida namlik miqdori nazorat tuproqqa nisbatan ancha sekin kamaydi.

Nazorat tuproqda namlik bug‘lanish va drenaj ta’sirida tez pasaygan bo‘lsa, gidrogel qo‘shilgan tuproqda namlik darajasi o‘n kungacha yuqori darajada saqlanib qoldi. Bu gidrogellarning suvni yutib, uni asta-sekin tuproq muhitiga qaytarish xususiyatiga ega ekanligini ko‘rsatadi.



7-rasm. Turli choklovchilar asosida olingan PAN–sellyuloza gidrogellari qo‘llanganda tuproq namligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi.

ISSN 3030-3907

Gidrogel qo‘shilgan tuproqlarda namlik nazorat tuproqqa nisbatan sekinroq kamayib, limon kislotasi va epixlorogidrin bilan choklangan tizimlar eng barqaror natijalarni namoyon etdi.

Ushbu natijalar PAN–sellyuloza gidrogellarining qishloq xo‘jaligida, ayniqsa qurg‘oqchil va yarim qurg‘oqchil hududlarda, tuproq namligini boshqarish uchun samarali material ekanligini tasdiqlaydi.

7. Umumiy muhokama va amaliy ahamiyati

Shishish, suvni ushlab qolish va tuproq sinovi natijalarini birgalikda tahlil qilish asosida “struktura–xossa–samaradorlik” o‘zaro bog‘liqligi aniqlandi. Boraks va glyoksal bilan choklangan gidrogellar yuqori shishish xususiyatiga ega bo‘lsada, suvni uzoq muddat saqlashda cheklangan imkoniyatlarni namoyon etdi. Epixlorogidrin va limon kislotasi bilan choklangan gidrogellar esa o‘rtacha shishish bilan birga yuqori suvni ushlab qolish va tuproq namligini barqaror saqlash xususiyatlarini ko‘rsatdi.

PAN tolalarining barcha tizimlarda mavjudligi gidrogelning mexanik mustahkamligini oshirib, takroriy shishish–quruqlashish sikllarida strukturaviy yaxlitlikni ta’minladi. Bu esa materiallarning real agrotexnologik sharoitlarda qo‘llanish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Umuman olganda, olingan natijalar limon kislotasi va epixlorogidrin bilan choklangan PAN–sellyuloza gidrogellari qishloq xo‘jaligi uchun suvni ushlab qoluvchi material sifatida eng muvozanatli va istiqbolli variant ekanligini ko‘rsatadi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda FTIR spektroskopiyasi, taqqoslovchi jadval va strukturaviy–funksional tahlillar asosida gilam sanoati chiqindilaridan olingan PAN tolalari va paxta linti asosida sintez qilingan PAN–sellyuloza gidrogellarining xossalari har tomonlama baholandi. Olingan natijalar gidrogellarning uch o‘lchamli polimer tarmog‘i va ularning amaliy samaradorligi choklovchi mexanizmini tanlash orqali samarali boshqarilishi mumkinligini aniq ko‘rsatdi.

FTIR tahlillari epixlorogidrin va limon kislotasi bilan choklangan tizimlarda kovalent efir va ester bog‘larining shakllanganini, glyoksal va boraks asosidagi gidrogellarda esa mos ravishda yarim kovalent atsetal va ionli borat–diol bog‘lari ustun ekanligini tasdiqladi. PAN tolalariga xos nitril (–C≡N) guruhlarining barcha namunalarda saqlanib qolishi PAN skeletining kimyoviy barqarorligini va uning gidrogel tarmog‘ida mustahkamlovchi komponent sifatida samarali ishlayotganini ko‘rsatdi.

Taqqoslovchi tahlil shuni ko‘rsatdiki, boraks va glyoksal bilan choklangan gidrogellar yuqori shishish va moslashuvchanlik xususiyatlariga ega bo‘lib, tez

ISSN 3030-3907

namlik talab qilinadigan sharoitlar uchun istiqbollidir. Biroq suvni uzoq muddat ushlab qolish va mexanik barqarorlik nuqtayi nazaridan epixlorogidrin va ayniqsa limon kislotasi bilan choklangan gidrogellar eng maqbul natijalarni namoyon etdi. Ushbu tizimlarda zich kovalent tarmoqlar suvning asta-sekin ajralib chiqishini ta'minlab, tuproq namligini barqaror ushlab turish imkonini beradi.

Qishloq xo'jaligi nuqtayi nazaridan, O'zbekiston va Qozog'iston kabi qurg'oqchil va yarim qurg'oqchil hududlarda tuproq namligini uzoq muddat saqlash ustuvor vazifa hisoblanadi. Shu sababli, limon kislotasi va epixlorogidrin bilan choklangan PAN–sellyuloza gidrogellari ekologik xavfsizligi, mexanik mustahkamligi va suvni uzoq muddat ushlab qolish qobiliyati bilan eng istiqbolli materiallar sifatida ajralib chiqdi. Boraks va glyoksal asosidagi gidrogellar esa qisqa vegetatsiya davrida yoki tez suv yutish talab qilinadigan agrotexnologik sharoitlarda qo'llanishi mumkin.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot sanoat chiqindilarini yuqori qo'shimcha qiymatga ega, bioparchalanuvchi va funksional materiallarga aylantirishning samarali yo'lini namoyon etdi. Taklif etilgan PAN–sellyuloza gidrogellari suv tanqisligi sharoitida tuproq namligini boshqarish, suv resurslaridan samarali foydalanish va barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirish uchun mustahkam ilmiy-amaliy asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Skrzypczak, D., Różyło, & F., Bastrzyk, A. (2020). *Biodegradable hydrogel materials for water storage in agricultural soils*. Desalination and Water Treatment, 194, 324–339. https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25801

2. Tursunali Nasrullaevich Eshburiev, Shavkat Shirinov, & Abdugani Mutalovich Azimov. "Synthesis Of Biodegradable Hydrogels From Polyacrylonitrile (Pan)-Based Carpet Waste And Cotton Linter And Their Application In Agriculture". Eurasian Journal of Physics,Chemistry and Mathematics, vol. 52, Feb. 2026, pp. 1-12, https://geniusjournals.org/index.php/ejpcm/article/view/7303.

3. Ahmad, D.F.B.A. et al. (2023). *Eco-friendly cellulose-based hydrogels derived from wastepaper for controlled release and water retention*. Environmental Sciences Europe, 35, 107. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00407-6

4. Zhu, J., Zhang, Z., Wen, Y., Song, X., Tan, W.K., Ong, C.N., et al. (2024). *Recent advances in superabsorbent hydrogels derived from agro waste materials for sustainable agriculture*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 72, 22399–22419. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c04970

5. Ali, K., et al. (2024). *Progress and innovations in hydrogels for sustainable agriculture*. Agronomy, 14(12), 2815. https://doi.org/10.3390/agronomy14122815

ISSN 3030-3907

6. Kabir, S.M.F., Sikdar, P.P., Haque, B., Bhuiyan, M.A.R., Ali, A., Islam, M.N. (2018). *Cellulose-based hydrogel materials: Chemistry, properties and their prospective applications*. Progress in Biomaterials, **7**, 153–174. https://doi.org/10.1007/s40204-018-0095-0

7. Tariq, Z., Iqbal, D.N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M., Ahmed, M. (2023). *Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: Synthesis and swelling behavior*. RSC Advances, 13, 24731–24754. https://doi.org/10.1039/D3RA03472K

8. Saha, A., Sekharan, S., Manna, U. (2020). *Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review*. Soil & Tillage Research, 204, 104736. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736

9. Sannino, A., Demitri, C., Madaghiele, M., Maffezzoli, A. (2013). *Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoirs in agriculture*. International Journal of Polymer Science, 2013, 435073. https://doi.org/10.1155/2013/435073

11. Li, S., Chen, G. (2022). *The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: a review*. Polymers, 14, 4721. https://doi.org/10.3390/polym14214721

12. Xiong, B., et al. (2020). *Converting okara to superabsorbent hydrogels as soil supplements*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 8, 9425–9433. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02181

13. Laddawan, P. et al. (2025). *Environmentally friendly carboxymethyl cellulose hydrogels for slow release fertilizers and water retention*. ACS Omega, 10(4), 14520–14534. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09928

14. Altynov, Y., et al. (2025). *Nanocellulose hydrogels from agricultural wastes: synthesis, properties and applications*. Nanoscale, 17, 12580–12597. https://doi.org/10.1039/D5NR00997A

15. Thivya, P. (2022). *A comprehensive review on cellulose-based hydrogel and its functional properties*. Current Opinion in Environmental Science & Health, 27, 100310. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100310

16. Alonso-Cuevas, C.F., et al. (2025). *Agricultural hydrogels from agro-industrial waste: a review*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 13, 115679. https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115679

17. Azimov,A.,Iztleuov,G.,Omirova,R.,Bolysbek,A.,Yertayeva,Z.,Nawi,N., Eshburiev,T., 2026. Formaldehyde-crosslinked GIPANA–polyacrylamide hydrogel improves root-zone soil moisture, infiltration, and crop yield under arid irrigation in the Turkistan Region. Eurasian J. Soil Sci. https://ejss.fesss.org/10.18393/ejss.1881729

ISSN 3030-3907

18. Tursunali Nasrullaevich Eshburiev, Shavkat Shirinov, & Abdugani Mutalovich Azimov. Synthesis of biodegradable cotton linter hydrogels for improving soil moisture retention in arid rainfed agriculture of the aral sea basin. *Innovations in technology and science education*, (2026). *5*(42), 4-13. http://sr-journals.org/index.php/ITSE/article/view/1038

19. Chen, H., Li, J., Wang, X. (2023). *Biopolymer hydrogel applications in soil water management*. Journal of Hydrology, 620, 128341. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.128341

20. Gómez, J., et al. (2022). *Cellulose composite hydrogels for water harvesting & agriculture*. Carbohydrate Polymers, 278, 118981. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118981

21. Singh, R., et al. (2021). *Sustainable superabsorbent hydrogels for drought-resilient agriculture*. Industrial Crops and Products, 169, 113666. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113666

ISSN 3030-3907