NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-10]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

02.00.00-KIMYO FANLARI
journal.namdu.uz
CHEMICAL SCIENCES

UDC 544.77:661.847:579.61

POLIAKRILAMID, POLIVINILSPIRT VA NATRIY-KARBOKSIMETILSELULOZA ASOSIDA BOR KISLOTA, LIMON KISLOTA, FORMALDEGID VA MOCHEVINA BILAN TIKILGAN GIBRID GIDROGELLARNI OLISH

Ibroximova Moxinbonu Xayotbek qizi
Namangan davlat texnika universiteti, tayanch doktoranti, Namangan, 160123, O‘zbekiston E-mail
E-mail: moxinbonuibroximova654@gmail.com
Xoshimov Farxod Fayzullayevich
Namangan davlat texnika universiteti, kimyo fanlari doktori, Namangan, 160123, O‘zbekiston E-mail
E-mail: xoshimovfarhod@gmail.com
Ibrokhimova Moxinbonu Khayotbek qizi
Doctoral Candidate, Namangan State Technical University, Namangan, 160123, Uzbekistan, E-mail:
E-mail: moxinbonuibroximova654@gmail.com
Khoshimov Farkhod Fayzullayevich
Namangan State Technical University, Doctor of Chemical Sciences, Namangan, 160123, Uzbekistan, E-mail
E-mail: xoshimovfarhod@gmail.com
Иброхимова Мохинбону Хаётбек кизи
докторант, Наманганский государственный технический университет, Наманган, 160123, Узбекистан, E-mail:
E-mail: moxinbonuibroximova654@gmail.com
Хошимов Фарход Файзуллаевич
Наманганский государственный технический университет, доктор химических наук, Наманган, 160123, Узбекистан, E-mail
E-mail: xoshimovfarhod@gmail.com
1ORCID: 0009-0007-8639-0589 2ORCID:0009-0005-4468-3223

Annotatsiya: *Ushbu maqolada poliakrilamid (PAA), polivinilspirt (PVS) va natriy-karboksimetilseluloza (Na-KMS) polimerlarining aralashmasidan, tikuvchi agent sifatida bor kislota, limon kislota hamda formaldegid va mochevina tizimidan foydalangan holda gibrid gidrogel olish masalasi ko‘rib chiqilgan. Ishning maqsadi — Qishloq xo‘jaligida foydalanish uchun tabiiy va sintetik polimerlarni turli tabiatga ega tikuvchi agentlar bilan birlashtirib, fizik-kimyoviy jihatdan barqaror, yuqori bo‘kish sig‘imiga ega va tarkibiy jihatdan boshqariladigan gibrid tarmoqli gidrogel tizimini yaratishdan iborat. Adabiyotlar tahlili asosida har bir tikuvchi agentning ta’sir mexanizmi, gidrogel xossalariga qo‘shgan hissasi va mumkin bo‘lgan qo‘llanish sohalari muhokama qilingan.*

Kalit so‘zlar: *gidrogel, poliakrilamid, polivinilspirt, karboksimetilseluloza, bor kislota, limon kislota, formaldegid, mochevina, tikuvchi agent, gibrid polimer tarmog‘i.*

ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛАМИДА, ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И НАТРИЙ-КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СШИТЫХ БОРНОЙ КИСЛОТОЙ, ЛИМОННОЙ КИСЛОТОЙ, ФОРМАЛЬДЕГИДОМ И МОЧЕВИНОЙ

Аннотация: *В данной статье рассматривается получение гибридного гидрогеля из смеси полимеров полиакриламида (ПАА), поливинилового спирта (ПВС) и карбоксиметилцеллюлозы натрия (Na-KMS) с использованием борной кислоты, лимонной кислоты и системы формальдегид-мочевина в качестве сшивающих агентов. Целью работы является создание физико-химически стабильной, обладающей высокой набухающей способностью и структурно контролируемой гибридной сетчатой гидрогелевой системы путем сочетания природных и синтетических полимеров с различными по природе сшивающими агентами для сельскохозяйственного применения. На основе обзора литературы обсуждаются механизм действия каждого сшивающего агента, его вклад в свойства гидрогеля и возможные области применения.*

Ключевые слова: *гидрогель, полиакриламид, поливиниловый спирт, карбоксиметилцеллюлоза, борная кислота, лимонная кислота, формальдегид, мочевина, сшивающий агент, гибридная полимерная сетка.*

PREPARATION OF HYBRID HYDROGELS BASED ON POLYACRYLAMIDE, POLYVINYL ALCOHOL AND SODIUM CARBOXYMETHYL CELLULOSE CROSS-LINKED WITH BORIC ACID, CITRIC ACID, FORMALDEHYDE AND UREA

Abstract: *This article discusses the preparation of a hybrid hydrogel from a polymer blend of polyacrylamide (PAA), polyvinyl alcohol (PVA), and sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) using boric acid, citric acid, and a formaldehyde-urea system as cross-linking agents. The aim of this work is to create a hybrid network hydrogel system—characterized by physicochemical stability, high swelling capacity, and a controlled structure—for agricultural applications by combining natural and synthetic polymers with cross-linking agents of diverse natures. Based on a literature review, the mechanism of action of each cross-linking agent, its contribution to the hydrogel's properties, and potential areas of application are discussed.*

Keywords: *hydrogel, polyacrylamide, polyvinyl alcohol, carboxymethyl cellulose, boric acid, citric acid, formaldehyde, urea, cross-linking agent, hybrid polymer network.*

1**. Kirish.** Gidrogellar — suv muhitida shishib, oʻz hajmining bir necha barobariga ortadigan, ammo erimaydigan uch oʻlchamli polimer tarmoqlardir. Ularning bunday xossasi zanjirlar orasida hosil boʻlgan kimyoviy yoki fizik tikuv (crosslink) bogʻlanishlar hisobiga ta'minlanadi. Bitta polimerdan tashkil topgan gidrogellar koʻpincha mexanik mustahkamlik, termik barqarorlik yoki boʻkish kinetikasi boʻyicha cheklangan imkoniyatlarga ega boʻladi. Shu sababli, soʻnggi yillarda ikki yoki undan ortiq polimerni birlashtirib, gibrid (aralash) tarmoqli gidrogellar yaratishga boʻlgan qiziqish sezilarli darajada oshgan.Poliakrilamid yuqori gidrofillik va tarmoqlanish qobiliyatiga, polivinilspirt esa koʻp miqdordagi gidroksil guruhlari tufayli plyonka hosil qiluvchi va biologik mos xossalarga ega. Natriy-karboksimetilseluloza — tabiiy sellyuloza asosidagi anion polielektrolit boʻlib, karboksil guruhlari hisobiga boshqa polimerlar va koʻp valentli ionlar bilan oson reaksiyaga kirishadi. Ushbu uch polimerning birgalikda qoʻllanilishi, ularning kimyoviy tabiati turlicha boʻlgan tikuvchi agentlar — bor kislota, limon kislota va formaldegid-mochevina tizimi — bilan uygʻunlashtirilganda, xossalari boshqariladigan gibrid gidrogel tarmogʻini shakllantirish imkonini beradi.

2. Gidrogellarni tikish mexanizmlari: umumiy nazariy asos.

Polisaxaridlar va sintetik polimerlar asosidagi gidrogellarni tikish uchun turli sintetik (glutaraldegid, karbodiimid, bor kislota, natriy trimetafosfat, N,N'-metilenbisakrilamid, polikarbon kislotalar) va tabiiy (transglutaminaza, taninat kislota va boshqalar) agentlardan foydalaniladi; bunda hosil boʻladigan bogʻlanishlar reaksiya mexanizmiga qarab farqlanadi [1]. Tikuvchi agentning tanlanishi yakuniy gidrogelning mexanik mustahkamligi, boʻkish darajasi va biologik moslashuvchanligi kabi xossalarini belgilaydigan asosiy omillardan biri hisoblanadi.

2.1. Bor kislota va boraks bilan tikish

Polivinilspirtning bor birikmalari bilan reaksiyaga kirishishi adabiyotlarda «di-diol kompleksatsiya» mexanizmi sifatida tavsiflanadi: bitta borat ioni PVS zanjiridagi ikkita qoʻshni gidroksil (diol) guruh bilan tetraedrik kompleks hosil qiladi [2]. Ushbu bogʻlanishning dinamik-qaytar xarakterga ega ekanligi haqida bir necha model taklif etilgan — ba'zi tadqiqotchilar bogʻlanishni aralash fizik-kimyoviy tabiatga ega deb hisoblasa, boshqalari uni sof dinamik kimyoviy tikuv sifatida talqin qiladi [2].

Boraks suvda gidrolizlanganda bor kislota va borat ionlariga ajraladi hamda PVS zanjiridagi gidroksil guruhlar bilan tezkor gellanish reaksiyasiga kirishadi [3].

Bor kislota bilan tikilgan PVS gidrogellari yuqori elastiklik va rezinasimon xossalarga ega boʻlib, tikuvchi agent miqdori ortishi bilan tarmoq tugunlari orasidagi molekulyar massa kamayadi, bu esa Yung modulini oshiradi [4].

Shu bilan birga, faqat bor kislota bilan tikilgan PVS tizimlari past kuchlanishlarda oqish (nyuton boʻlmagan oqim) xossasini namoyon etib, oʻlchamiy barqarorligi cheklangan boʻlishi mumkin, shu sababli ularni boshqa polimerlar yoki qoʻshimcha tikuvchi agentlar bilan birga qoʻllash tavsiya etiladi [5].

PVS va tabiiy sellyuloza (jumladan, kanop tolasidan olingan sellyuloza) asosidagi gidrogellarni boraks bilan kimyoviy tikish natijasida muvozanat suv sigʻimi va siqilish xossalari sezilarli darajada yaxshilanishi koʻrsatilgan [6].

2.2. Limon kislota bilan tikish

Limon kislota — uch karboksil guruhga ega, arzon va toksik boʻlmagan polikarbkislota boʻlib, u KMS va PVS zanjirlaridagi gidroksil guruhlar bilan esterlanish reaksiyasiga kirishib, ester koʻprikchalari orqali kimyoviy tikuv hosil qiladi [7]. KMS-PVS gidrogel plyonkalarini limon kislota bilan tikish natijasida karboksil guruhlar miqdori, tortilish mustahkamligi va boʻkish sigʻimi sof KMS gidrogeliga nisbatan sezilarli oshgani aniqlangan, bu esa ester bogʻlanishlarining tarmoqni zichlashtirishini tasdiqlaydi [7]. Limon kislota va glutaraldegid birgalikda qoʻllanilganda, tikuvchi agentlar konsentratsiyasini optimallashtirish orqali gidrogelning gʻovakli tuzilishi, zichligi va suvni ushlab turish qobiliyatini nazorat qilish mumkinligi koʻrsatilgan [8].

Shuningdek, KMS va PVS asosidagi gibrid tarmoqlarni limon kislota bilan «yashil» (erituvchisiz, toksik boʻlmagan) usulda tikish orqali yuqori gidrofillik, namlikni ushlab turish va gemomoslik xossalariga ega biofunksional gidrogellar olingani qayd etilgan [9].

Elektrospinlangan PVS tolali membranalarini limon kislota bilan tikishda konsentratsiya oshishi bilan boʻkish qarshiligi va modul ortishi, ammo choʻzilish mustahkamligi ma'lum chegaragacha oʻzgarishi aniqlangan [10].

2.3. Formaldegid va mochevina ishtirokidagi tikish tizimlari

Poliakrilamidni formaldegid asosidagi birikmalar (formaldegidning oʻzi, geksametilentetramin, fenol- yoki gidroxinon-formaldegid, melamin-formaldegid) bilan tikish sanoatda, xususan neft-gaz quduqlarini izolyatsiya qilishda keng qoʻllaniladi. Bunday tizimlarda reaksiya ikki asosiy yoʻnalishda boradi: birinchisi — formaldegidning poliakrilamid amid guruhi yoki fenolli birikma bilan gidroksimetillanish reaksiyasiga kirishib, soʻngra kondensatsiyalanish orqali uch oʻlchamli tarmoq hosil qilishi; ikkinchisi — gidroksimetil guruhlarning polimer zanjiridagi amid guruhlar bilan bevosita kondensatsiyalanishi [11].

Mochevina ushbu tizimlarda ikki muhim vazifani bajaradi: birinchidan, u poliakrilamid va formaldegid orasidagi nukleofil almashinish reaksiyasini sekinlashtirib, gellanish vaqtini boshqarish imkonini beradi, bu esa yuqori harorat va minerallashgan muhitlarda gellanish jarayonini nazorat qilishda muhim ahamiyatga ega [11, 12].

Ikkinchidan, mochevina parchalanishidan hosil boʻlgan mahsulotlar tarkibidagi ionlar bilan reaksiyaga kirishib, tarmoqning qoʻshimcha barqarorligini ta'minlashi mumkin. Bunday mochevina bilan kechiktirilgan formaldegid tizimlari yuqori haroratli va yuqori minerallashgan sharoitlarda uzoq vaqt (100 kundan ortiq) barqaror qoladigan kompozit gellarni shakllantirishga xizmat qiladi [12].

2.4. Poliakrilamid–karboksimetilseluloza gibrid tizimlari

Poliakrilamidning tabiiy polisaxaridlar, jumladan KMS bilan tikilishi amid guruhi va polisaxaridning gidroksil guruhi orasidagi reaksiya orqali amalga oshadi, bu esa quduqlarni suvdan izolyatsiya qilishda qoʻllaniladigan gidrogel tizimlarida tasdiqlangan [13].

Kriogen usulida UV-nurlantirish ostida poliakrilamid-KMS gidrogellarini kimyoviy tikish natijasida gʻovakli va mustahkam tarmoq hosil boʻlib, bunday tizimlar dori moddalarini sekinlik bilan chiqarish uchun istiqbolli hisoblanadi [14].

Bu ma'lumotlar poliakrilamidning nafaqat sintetik, balki tabiiy polisaxarid zanjirlari bilan ham samarali gibrid tarmoq hosil qila olishini koʻrsatadi, bu esa taklif etilayotgan uch komponentli (PAA–PVS–KMS) tizim uchun nazariy asos boʻlib xizmat qiladi.

3. Taklif etilayotgan gibrid gidrogel tizimining tarkibi va sintez yondashuvi

Yuqoridagi tahlil asosida quyidagi gibrid gidrogel tizimi taklif etiladi:

- Polimer komponentlar: poliakrilamid (tarmoqning asosiy gidrofil skeleti), polivinilspirt (plyonka hosil qiluvchi va elastik komponent) va natriy-karboksimetilseluloza (tabiiy polielektrolit, qoʻshimcha karboksil funksional guruhlar manbai).

- Tikuvchi agentlar: bor kislota (PVS zanjirlari orasida tezkor, qaytar «di-diol» fizik-kimyoviy tikuv hosil qiluvchi komponent), limon kislota (KMS va PVS gidroksil guruhlari bilan esterlanish orqali barqaror kimyoviy koʻprikcha hosil qiluvchi komponent) va formaldegid-mochevina tizimi (poliakrilamid amid guruhlari bilan kondensatsiyalanib, uzoq muddatli barqarorlikni ta'minlovchi, gellanish vaqti mochevina yordamida boshqariladigan komponent).

Bunday uch xil tabiatga ega tikuvchi agentning bir tizimda birlashtirilishi — tezkor fizik (bor kislota), oʻrta tezlikdagi kimyoviy (limon kislota) va sekin, boshqariladigan kimyoviy (formaldegid-mochevina) tikuv turlarining kombinatsiyasi — gidrogelning gellanish kinetikasini bosqichma-bosqich boshqarish, shuningdek yakuniy tarmoqning mexanik mustahkamligi va boʻkish xossalarini keng diapazonda sozlash imkonini beradi. Sintez, odatda, polimerlarni suvli muhitda erittirish, ularni aralashtirish, soʻngra tikuvchi agentlarni ketma-ket yoki birgalikda kiritish va issiqlik yordamida (yoki xona haroratida, tikuvchi agentga qarab) gellanish bosqichidan iborat boʻladi; bunda pH, harorat va reagentlar nisbati asosiy nazorat parametrlari hisoblanadi.

4. Kutilayotgan xossalar va qoʻllanish sohalari

Adabiyotlar tahlili shuni koʻrsatadiki, oʻxshash tarkibli gidrogellar quyidagi xossalar bilan tavsiflanadi: yuqori suv ushlab turish va boʻkish sigʻimi, tikuvchi agent miqdoriga bogʻliq holda oʻzgaruvchan mexanik mustahkamlik, hamda tarkibga qarab boshqariladigan degradatsiya tezligi. Bunday xossalar tufayli gibrid PAA–PVS–KMS gidrogellari yara davolash uchun tibbiy qoplamalar [7, 9], dori moddalarini sekinlik bilan chiqarish tizimlari [1, 14], qishloq xoʻjaligida namlikni saqlovchi tuproq qoʻshimchalari, hamda neft-gaz sanoatida suv oqimini izolyatsiya qiluvchi gellar [12, 13] kabi sohalarda qoʻllanilishi mumkin.

Tadqiqotlar metodoogiyasi: gibrid gidrogellarni sintezi uchun polimerlardan: karboksimetilselulozaning natriyli tuzi (KMS-Na), poliakrilamid (PAA), polivinil spirt (PVS), $C_6H_8O_7$ (LK), metanal (CH), natriy tetraborat ($Na_2B_4O_7*10H_2O$),

bor kislotasi (H_3BO_3) va mochevina ($CO(NH_2)_2$) kabi moddalardan foydalanildi.Tajribani o‘tkazishda polimerlarni 1%li eritmalaridan, tikuvchi agentlarni esa 0.1% li eritmalaridan foydalanildi. Moddalarni KERN firmasining «ABS 120-4N» model elektron analitik tarozisida verguldan so‘ng 4 ta xona aniqlikda tortib olindi. 400 ml hajmli o‘lchov stakanlarida kompozitsiyalar tayyorlandi, magnit aralashtirgichda 80°C gacha qizdirib aralashtirildi va MEMMERT firmasining «UN 40» model quritish shkafida 120°C haroratda eng kam miqdorda suv qolguncha suvsizlantirildi. Suvsizlantirilgan kompozitsiyalarni 96% li etil spirt yordamida cho‘ktirib, so‘ngra 140 °C haroratda tikish jarayoni amalga oshirildi. Olingan gidrogellarni distillangan suv bilan bo‘ktirib, bo‘kish darajasi (***BD***) quyidagi formula bilan aniqlandi:

$$\boldsymbol{BD = \frac{m_b - m_q}{m_q}}$$

Bu yerda qayd etilgan mb - bo‘kkan gidrogel massasi, mq – suvsiz gidrogel massasi. Sintezlar va ularning tahlili: 5 ta namuna tayyorlash uchun 400 ml li o‘lchov stakanlaridan olib ularga tegishli tartibda KMS-Na, PAA va PVS polimerlarini 1% li eritmasidan va tikuvchi agentlarni li eritmasidan 1-jadvalda ko‘rstilgan hajmda quyildi. So‘ngra yuqorida keltirilgan parametrlar bo‘yicha tikildi va distillangan suvda bo‘kish darajasi o‘rganildi. 1-jadvalda bu gibrid gidrogellarni bo‘kish darajasi ko‘rsatilgan.$(H_3BO_3, CH_2O)0.1\%$

1-jadval

Polimerlarni tikuvchi agentlar bilan sintez qilingan gibrid gidrogellarini bo‘kish darajalari

№	Tikuvchi agent (0.1%)	Hajm (ml)	1-polimer (1%)	Hajm (ml)	2-polimer (1%)	Hajm (ml)	Suvda bo‘kish darajasi	Tikish vaqti (soat)	Tikish harorati	Spirtda cho‘ktirilishi
1	H_3BO_3	10	PAA	90	KMS-Na	10	212.67	2	140	+
2	H_3BO_3	5	PAA	90	KMS-Na	10	182.33	2	140	+
3	H_3BO_3	10	PAA	90	KMS-Na	10	164.44	2	140	+
4	CH_2O	5	PVS	10	KMS-Na	90	149	2	140	+
5	H_3BO_3	10	PVS	10	KMS-Na	90	103.2	2	140	+

1-jadval bo‘yicha 1% li polimerlar KMS-Na dan 90ml va PAA dan 10 ml H3BO3 kislotadan (0.1%) 10 ml da olingan holatdagisini bo‘kish darajasi 212.67 korsatgichga ega boldi. Huddi shu nisbatda poliakrilamid o‘rnida polivinilspirtdan foydalanganimizda olingan gibrid gidrogelimiz bo‘kish darajasi 103.2 ekanligini kuzatdik. Demak poliakrilamidga qaraganda polivinilspirt bilan qilingan tajribamiz samarali ekanligini kuzatdik.

Gidrogellar sintezi: A, B, D va E namunalarini olish uchun hajmi 400 ml bo‘lgan 4 ta stakanga 190 ml dan 1% li KMS-Na eritmasi quyildi; har bir stakandagi eritmaga 10 ml dan 1% li PAA eritmasi qo‘shildi va ularga quyidagi bog‘lovchi moddalarning 0,1% li eritmalari solindi: 1-stakanga 5 ml LK eritmasi, 2-stakanga 5 ml CH2O, 3-stakanga 5 ml BK va 4-stakanga 5 ml Bura eritmasi. So‘ngra yuqorida qayd etilgan jarayonlar amalga oshirildi. 2-jadvalda bog‘lanish darajalari keltirilgan.

2-jadval

140 °C va 180 °C haroratlarda turli bog‘lovchi agentlar ishtirokida sintez qilingan KMS-Na:PAA gidrogellarining bo‘kish darajalari

№	Namuna	1-polimer	V Ml	2-Polimer	V Ml	Tikuvchi agent (0.1%)	V ml	Bo‘kish darajasi 140°C	Bo‘kish darajasi 180°C

1	A	KMS-Na	190	PAA	10	LK	5	88.56	21.183
2	B	KMS-Na	190	PAA	10	CH_2O	5	82.101	14.56
3	D	KMS-Na	190	PAA	10	BK	5	129	11.33
4	E	KMS-Na	190	PAA	10	Bura	5	101	5.66

Umumiy tendensiya. Barcha to‘rtta namunada (A, B, D, E) sintez harorati 140 °C dan 180 °C ga ko‘tarilganda bo‘kish darajasi keskin pasaygan — bu qonuniyat tikuvchi agent turidan qat’i nazar barqaror kuzatiladi. Bu holat gidrogel tarmog‘ining Flory–Rehner nazariyasiga mos ravishda talqin qilinadi: harorat oshishi bilan KMS-Na va PAA zanjirlari orasidagi tikuvchi reaksiya (esterlanish, kondensatsiyalanish yoki kompleks hosil bo‘lish) chuqurroq boradi, natijada tarmoq tugunlari (crosslink) zichligi ortadi, tarmoq katakchalari (mesh size) kichrayadi va polimer segmentlarining erkin harakatchanligi cheklanadi — bu esa suvni tarmoq ichiga tortib olish qobiliyatini pasaytiradi.

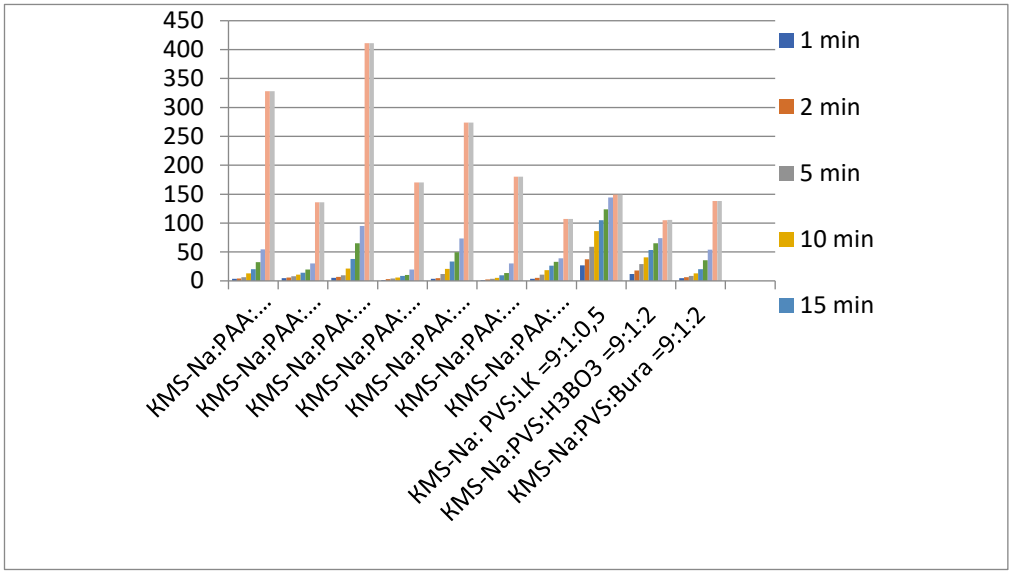
3-jadvalda turli hajmdagi polimerlar va tikuvchi agentlar asosida olingan gidrogellarni bo‘kish kinetikasi vaqtga (daqiqalarda) bog‘lab ifodalangan. 1-rasmda shu jarayonni diagramma holati keltirilgan.

3-jadval

Turli polimerlar va tikuvchi agentlar asosida olingan kompozitsiyalarning bo‘kish kinetikasi

№	Kompozitsiyalar	1 min	2 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	Bo‘kish darajasi 24 soat
1	KMS-Na:PAA: H3BO3=10:90:1	3,5	4,4	6,6	13	20,2	32,4	54,6	328	328
2	KMS-Na:PAA: H3BO3=10:90:5	4,5	5,7	8	10,6	14,3	19,9	29,9	136	136
3	KMS-Na:PAA: H3BO3=10:90:10	4,98	6,63	9,46	21,2	37,9	65	94,8	411	411
4	KMS-Na:PAA: H3BO3=50:50:1	1,6	2,9	3,9	5,9	8,4	10,5	19,5	170	170
5	KMS-Na:PAA: H3BO3=50:50:5	3,35	4,7	11,8	20,8	33,6	49,6	73,4	274	274
6	KMS-Na:PAA: H3BO3=50:50:10	1,52	2,21	3,8	5,37	9,7	13,3	29,9	180	180
7	KMS-Na:PAA: H3OB3=95:5:2,5	3,77	5,02	10,6	18,7	26,2	32,7	39	107	107
8	KMS-Na: PVS:LK =9:1:0,5	26,8	37,3	59,2	86	105	124	144	149	149,1
9	KMS-Na:PVS:H3BO3 =9:1:2	12,1	18,2	29,1	40,8	53,2	65	74	105	105,7
10	KMS-Na:PVS:Bura =9:1:2	4,89	6,42	8,69	12,8	20,4	35,7	53,8	138	138,3

3-jadval natilalariga ko‘ra 10 xil turli nisbatda namunalar asosida olingan gidrogellar ichida 3 ta namuna suvda bo‘kish darajasi 200 da yuqori natijani qayd etdi. Unga ko‘ra bo‘kish darajalari 274, 328 va 411 ga teng bo‘lgan tarkiblar KMS-Na:PAA: H3BO3 lar ekanligi ma’lum bo‘ldi.



1-rasm. Gidrogel kompozitsiyalarni bo‘kish kinetikasi diagrammasi

Xulosa. Gibrid gidrogellar zamonaviy barqaror qishloq xo‘jaligining muhim texnologik vositalaridan biriga aylanib bormoqda. Ular tuproqda namlikni samarali saqlash, agrokimyoviy moddalarni maqsadli va bosqichma-bosqich yetkazib berish, hamda tuproq unumdorligini oshirish orqali suv, pestitsid va o‘g‘it resurslaridan oqilona foydalanishga xizmat qiladi. Ayniqsa suv tanqisligi va tuproq degradatsiyasi muammosi keskin bo‘lgan mintaqalarda gibrid gidrogel texnologiyalarini joriy etish sug‘orma dehqonchilik samaradorligini oshirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Suvni boshqarish, tuproq konditsiyasini yaxshilash va nazoratlanadigan oziq moddalar yetkazib berishni yagona tizimga birlashtiruvchi «aqlli qishloq xo‘jaligi» konsepsiyasi doirasida gidrogel texnologiyalarini yanada rivojlantirish kelgusi tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishi bo‘lib qolmoqda. Sintezlar shuni ko‘rsatyaptiki 1 gramm gibrid gidrogel 107 gramdan 410 gramgacha suvni ushlab tura olishi aniqlandi..Gidrogel shakli ham turg‘un holatda turgani tajribamizdagi quvonarli natijadir. Bo‘kish darajasi haroratga ham bog‘likligi aniqandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rusu A.G. va boshq. A New Trend for a Better Future: Cross-Linking Reactions between Synthetic and Natural Polysaccharides or Proteins: Review. *International Journal of Molecular Sciences* (bor kislota, glutaraldegid, karbodiimid va boshqa tikuvchi agentlarni umumlashtiruvchi sharh).

2. Sinton S.W. Complexation reactions in the borate–poly(vinyl alcohol) system; «di-diol» kompleksatsiya mexanizmi tavsifi. *Heritage Science*, 2015. DOI: 10.1186/s40494-015-0053-2.

3. Gao L., Guo G. va boshq. Multi-responsive, bidirectional, and large deformation bending actuators based on borax cross-linked polyvinyl alcohol derivative hydrogel. *RSC Advances*, 2017, 7, 40005–40014.

4. Wang H.-H., Shyr T.-W., Hu M.-S. The Elastic Property of Polyvinyl Alcohol Gel with Boric Acid as a Crosslinking Agent. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, 74, 3046–3052.

5. Ricarte R.G. va boshq. PVA–boric acid hydrogel gelation and rheology. *Soft Matter* (RSC), maqola versiyasi: pubs.rsc.org/d3sm00695f.

6. Silprasert P., Boonmahitthisud A., Tanpichai S. Using Borax as a Cross-Linking Agent in Poly(Vinyl Alcohol)/Hemp-Extracted Cellulose Hydrogels. *Materials Science Forum*, 2024, 1118, 121–126.

7. Ghorpade V.S., Dias R.J., Mali K.K., Mulla S.I. Citric acid crosslinked carboxymethylcellulose-polyvinyl alcohol hydrogel films for extended release of water soluble basic drugs. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2019, 52, 421–430. DOI: 10.1016/j.jddst.2019.05.013.

8. Pratinthong K. va boshq. Modification of a Carboxymethyl Cellulose/Poly(vinyl alcohol) Hydrogel Film with Citric Acid and Glutaraldehyde Crosslink Agents to Enhance the Anti-Inflammatory Effectiveness of Triamcinolone Acetonide in Wound Healing. *Polymers*, 2024, 16, 1798. DOI: 10.3390/polym16131798.

9. Functionalized bioadhesion-enhanced carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol hybrid hydrogels for chronic wound dressing applications. *RSC Advances*, 2023, 13(19), 13156.

10. Effect of Citric Acid on Swelling Resistance and Physicochemical Properties of Post-Crosslinked Electrospun Polyvinyl Alcohol Fibrous Membrane. *(PMC — to‘liq bibliografik ma’lumot manba havolasida)*, PMC10096727.

11. Wang va boshq. Urea Delays High-Temperature Crosslinking of Polyacrylamide for In Situ Preparation of an Organic/Inorganic Composite Gel. *Gels*, 2025, 11(4), 256. DOI: 10.3390/gels11040256.

12. Xuddi shu manba: PMC12026697 — poliakrilamidni formaldegid asosidagi birikmalar (HMTA, fenol-formaldegid, melamin-formaldegid) bilan tikish mexanizmlari tahlili.

13. Polyacrylamide and Polyacrylamide/Polysaccharide Hydrogels for Well Water Shutoff in High-Temperature Reservoirs. PMC12652023.

14. Porous and Tough Polyacrylamide/Carboxymethyl Cellulose Gels Chemically Crosslinked via Cryo-UV Polymerization for Sustained Drug Release. *Gels*, 2025, 11, 453.