

QISHLOQ XO‘JALIGIDA QO‘LLANILADIGAN GIDROGELLARNI MODIFIKATSIYALANGAN KRAXMAL ASOSIDA OLINISHI VA XOSSALARI

Sanjar Samadov,
tayanch doktorant,
Xayit Turayev,
k.f. d., prof.,
Baxodir Xolnazarov
t.f.d., dots., TerDU



Annotatsiya.

Ushbu tadqiqot ishida qishloq xo'jaligida kraxmal fosfat-(akril kislota-akrilamid)/karbamid/perlit/apatit asosida sintez qilingan gidrogelning distillangan suvda, turli pH muhitlarida hamda tuzli eritmalarida (NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ va CaCl₂) bo'kuvchanlik darajasi hamda gidrogelning qayta foydalanish barqarorligi o'rganildi. Shuningdek, sintez qilingan gidrogellarning fizik-kimyoviy xossalari termogravimetrik tahlil (TGA) va rentgen-faza tahlil (XRD) usullari yordamida o'rganildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, gidrogel tarkibiga tabiiy mineral komponentlarni kiritish mahsulotning ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish bilan bir qatorda, uning ekologik xavfsizligini ham sezilarli darajada oshiradi.

Kalit so'zlar:

bo'kuvchanlik darajasi, minerallar, tabiiy polisaxarid, akril kislota va akrilamid, karbamid.

Abstract.

In this research work, the degree of swelling of hydrogel synthesized in agriculture based on starch phosphate-(acrylic acid-acrylamide)/urea/perlite/apatite in distilled water, in different pH environments and in salt solutions (NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ and CaCl₂) and the stability of hydrogel reuse were studied. Also, the physicochemical properties of the synthesized hydrogels were studied using thermogravimetric analysis (TGA) and X-ray phase analysis (XRD). The results of the study showed that the inclusion of natural mineral components in the hydrogel composition not only reduces the production costs of the product, but also significantly increases its environmental safety.

Key words:

degree of saturation, minerals, natural polysaccharide, acrylic acid and acrylamide, urea.

Аннотация.

В данной исследовательской работе изучалась степень набухания гидрогеля, синтезированного в сельском хозяйстве на основе крахмалфосфата-(акриловая кислота-акриламид)/мочевины/перлита/апатита в дистиллированной воде, в различных средах с разным pH и в солевых растворах (NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ и CaCl₂), а также стабильность гидрогеля при повторном использовании. Кроме того, физико-химические свойства синтезированных гидрогелей изучались с помощью термогравиметрического анализа (ТГА) и рентгенофазового анализа (РД). Результаты исследования показали, что включение природных минеральных компонентов в состав гидрогеля не только снижает себестоимость производства продукта, но и значительно повышает его экологическую безопасность.

Ключевые слова:

степень насыщенности, минералы, природный полисахарид, акриловая кислота и акриламид, мочевина.

So'nggi yillarda global iqlim o'zgarishi, suv resurslarining tanqisligi va qishloq xo'jaligida suvdan foydalanish samaradorligini oshirish zarurati gidrogellarga bo'lgan qiziqishni keskin oshirdi. Shu sababli ular tuproq namligini barqarorlashtirish, sug'orish suvini tejash, oziqa elementlarining yuvilib ketishini kamaytirish hamda qurg'oqchil hududlarda ekinlarning chidamliligini oshirishda istiqbolli materiallar sifatida qaralmoqda. An'anaviy sintetik gidrogellar asosan poliakrilat va poliakrilamid asosida tayyorlanadi. Ular yuqori suv shimish sig'imiga ega bo'lsa-da, biologik parchalanish darajasining pastligi va ishlab chiqarish tannarxining nisbatan yuqoriligi ularning keng qo'llanilishini cheklaydi¹. Shu sababli so'nggi yillarda qayta tiklanuvchi tabiiy polisaxaridlar, xususan kraxmal, sel-

¹ Ismail H., Irani M., Ahmad Z. "Starch-based hydrogels: present status and applications". Int. J. Polym. Mater., 2012, vol. 62, pp. 411-420. <https://doi.org/10.1080/00914037.2012.719141>.

Elbarbary M., AbdRahim H.A., ElSawy N., Hegazy E.A., Salimon E.A. Radiation induced crosslinking of polyacrylamide incorporated low molecular weights natural polymers for possible use in agricultural applications. Carbohydr. Polym., 2017, vol. 176, pp. 19-28. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.08.050.

lyuloza, xitozan, alginat va guar saqichi asosida ekologik xavfsiz kompozit gidrogellar yaratishga alohida e'tibor qaratmoqdalar.

Kraxmal biologik parchalanadigan, arzon, qayta tiklanuvchi va ko'p sonli gidroksil guruhlariga ega tabiiy polisaxarid hisoblanadi. Biroq tabiiy kraxmalning suvda barqarorligi va mexanik mustahkamligi past bo'lganligi sababli uni kimyoviy modifikatsiyalash zarurati tug'iladi [2]. Fosfatlash eng samarali modifikatsiya usullaridan biri bo'lib, natijada kraxmal molekulalarida fosfat guruhlar hosil bo'ladi, bu esa uning gidrofilligini, ion almashinish qobiliyatini va termik barqarorligini oshiradi. Kraxmal fosfat asosida sintez qilingan gidrogellar oddiy kraxmal asosidagi materiallarga nisbatan yuqori suv shimish sig'imi va yaxshiroq mexanik xossalarga ega ekanligi ko'plab tadqiqotlarda qayd etilgan. Tabiiy polisaxaridlarning akril kislota (AA) va akrilamid (AAM) bilan sopolimerlanishi bugungi kunda qishloq xo'jaligi gidrogellarini olishning eng samarali usullaridan biri hisoblanadi.

Akril kislota gidrogel tarkibiga ko'p sonli karboksil guruhlarini kiritib, suv molekulalari bilan vodorod bog'lari hosil qilish va ionlanish hisobiga shishish darajasini oshiradi.

Akrilamid esa amid guruhlarini orqali polimer tarmog'ining mexanik mustahkamligini yaxshilaydi hamda gidrogelning ko'p martalik foydalanishdagi barqarorligini ta'minlaydi [3-].¹

Shu sababli AA/AAM kopolimerlari asosidagi gidrogellar qishloq xo'jaligi, biotibbiyot va atrof-muhitni muhofaza qilish sohalarida keng o'rganilmoqda. So'nggi yillarda gidrogel tarkibiga tabiiy mineral to'ldirgichlarni kiritish alohida ilmiy yo'nalish sifatida rivojlanmoqda. Perlit polimer matritsasi qo'shimcha kapillyar tuzilma hosil qilib, suv diffuziyasini yaxshilaydi hamda gidrogelning mexanik deformatsiyaga chidamliligini oshiradi. Bundan tashqari, perlit kompozit materialning tannarxini kamaytirishga ham xizmat qiladi [5]. Apatit esa fosfor va kalsiyga boy tabiiy mineral bo'lib, gidrogel tarkibida nafaqat mineral to'ldirgich, balki sekin ajraluvchi ozuqa elementi manbai sifatida ham muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, apatit zarrachalari polimer matritsasi bilan fizik va kimyoviy o'zaro ta'sirlashib, gidrogelning termik barqarorligini oshiradi hamda tuproqqa fosfor elementining bosqichma-bosqich ajralishini ta'minlaydi [6-8].

Yuqoridagi ilmiy manbalar tahlili shuni ko'rsatadiki, kraxmal fosfat-(akril kislota-akrilamid)/karbamid/perlit/apatit asosidagi kompozit gidrogellar bo'yicha ayrim tadqiqotlar mavjud bo'lsada, ushbu komponentlarning bir tizimda qo'llanilishi, ularning distillangan suv, turli pH muhitlari va NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄ hamda CaCl₂ eritmalaridagi bo'kuvchanlik xususiyatlari, shuningdek shishish-quritish sikllaridagi barqarorligi va TGA hamda XRD tahlillari asosida kompleks baholanishi yetarli darajada yoritilmagan. Mazkur tadqiqot aynan ushbu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan bo'lib, qishloq xo'jaligida qo'llash uchun ekologik xavfsiz, iqtisodiy samarali va yuqori funksional kompozit gidrogellar yaratishga xizmat qiladi.

Eksperiment va olingan natijalar tahlili.

Sintez jarayonida kraxmal fosfat, akril kislota (AA, monomer), akril amid (AM, monomer), karbamid, kaliy gidroksid (KOH, neytrallovchi), N,N'-metilenbisakrilamid (MBA, bog'lovchi), kaliy persulfat (KPS, initsiator) hamda perlit va apatitni ishlatildi. Barcha reaktivlar tahliliy tozalik darajasiga ega va qo'shimcha tozalashsiz qo'llanildi. Erimalarni tayyorlash va gidrogelni yuvish jarayonlari uchun distillangan suvdan foydalanildi. Sintez qilingan gidrogelning termik barqarorligini va parchalanish bosqichlarini baholash maqsadida termogravimetrik (TGA) hamda differensial termik tahlil (DTA) o'tkazildi.

TGA grafigidan ko'rinib turibdiki, materialning termik destruksiya asosan uchta ketma-ket asosiy bosqichda amalga oshadi. Birinchi bosqich 23.38 °C dan 241.85 °C gacha bo'lgan harorat oralig'ini o'z ichiga olib, bu jarayonda 14.32% massa yo'qotilishi kuzatiladi. Bu asosan gidrogel yuzasidagi erkin suvning bug'lanishi hamda polimer matritsasi gidrofil guruhlar (-OH, -COO⁻) va seolit g'ovaklarida kuchli vodorod bog'lari orqali ushlanib qolgan (kristallizatsion) suv molekulalarining ajralib chiqishi bilan izohlanadi. Namlikning qariyb 240 °C gacha to'liq ajralmasdan turishi, suv molekulalarining material ichida yuqori energiyali bog'lanishlarga ega ekanligini tasdiqlaydi. Ikkinchi bosqich 241.85 °C dan 417.46°C gacha kechadi va bu asosiy destruksiya jarayonlaridan biri bo'lib, 23.37% massa yo'qotilishiga olib keladi. Mazkur harorat oralig'ida modifikatsiyalangan kraxmal makromolekulasidagi glikozid bog'larining parchalanishi, poli (akril kislota) zanjirlarining dekarboksillanishi (CO₂

1. Glenn, G. M., Klamczynski, A. P., Chiou, B., Orts, W. J. et al., Temperature related structural changes in wheat and corn starch granules and their effects on gels and dry foam. *Starch/Stärke* 2008, 60, 476-484.

2. Garcí a-González, C. A., Uy, J. J., Alnaief, M., Smirnova, I., Preparation of tailor-made starch-based aerogel microspheres by the emulsion-gelation method. *Carbohydr. Polym.* 2012, 88, 1378-1386.

3. Vieira, A. P., Ferreira, P., Coelho, J. F. J., Gil, M. H., Photocrosslinkable starch-based polymers for ophthalmologic drug delivery. *Int. J. Biol. Macromol.* 2008, 43, 325-332.

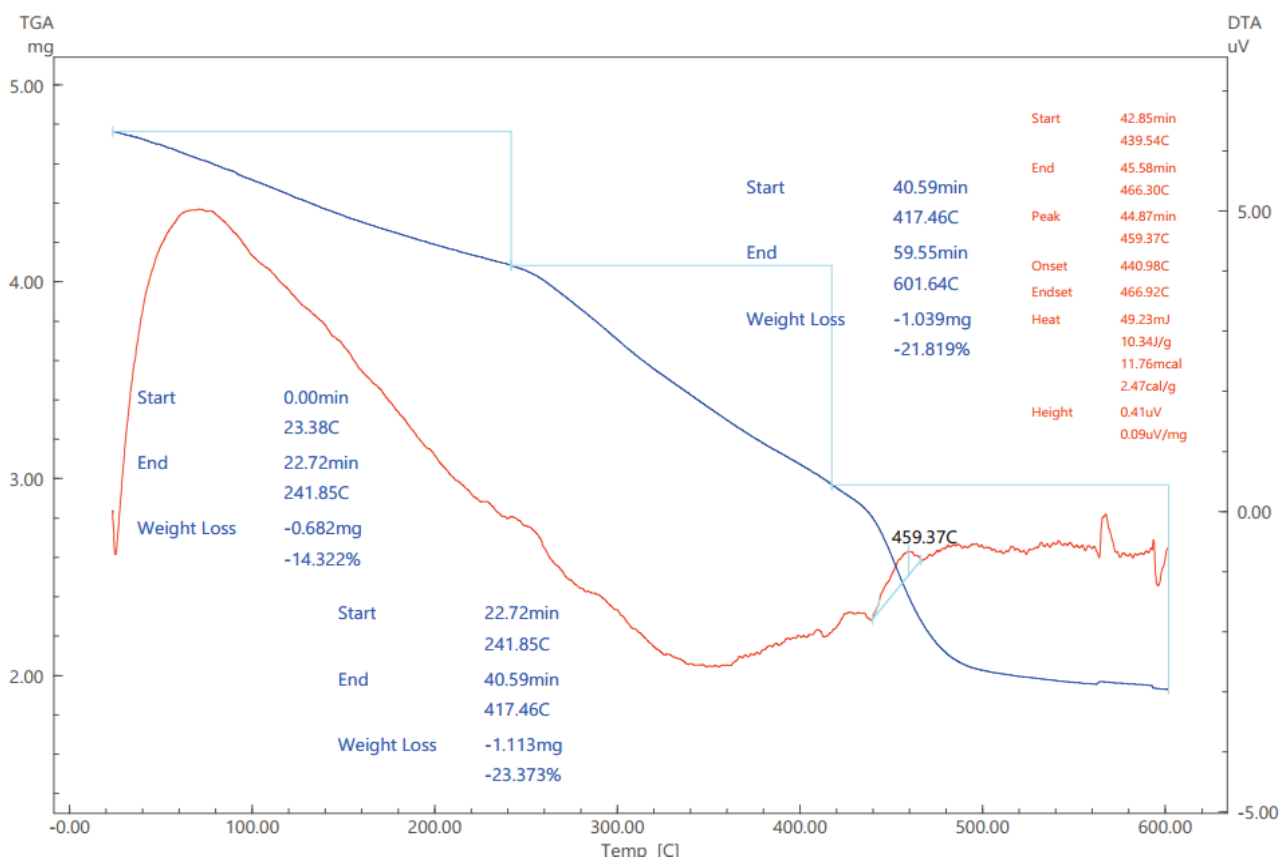
4. Kuang, J., Yuk, K. Y., Huh, K. M., Polysaccharide-based superporous hydrogels with fast swelling and superabsorbent properties. *Carbohydr. Polym.* 2011, 83, 284-290.

5. Cadar, O., Paul, M., Roman, C., Miclean, M., Majdik, C., Biodegradation of poly(lactic acid) and (lactic acid-ethylene-malonic or succinic acid) copolymers under controlled composting conditions in a laboratory system. *Polym. Degrad. Stab.* 2012, 97, 354-357.

6. Synthesis Hydrogels based on Starch-Graftacrylonitrile/Bentonite International Journal of Engineering Trends and Technology Open source preview, 2024, 72(11), страницы 371-379.

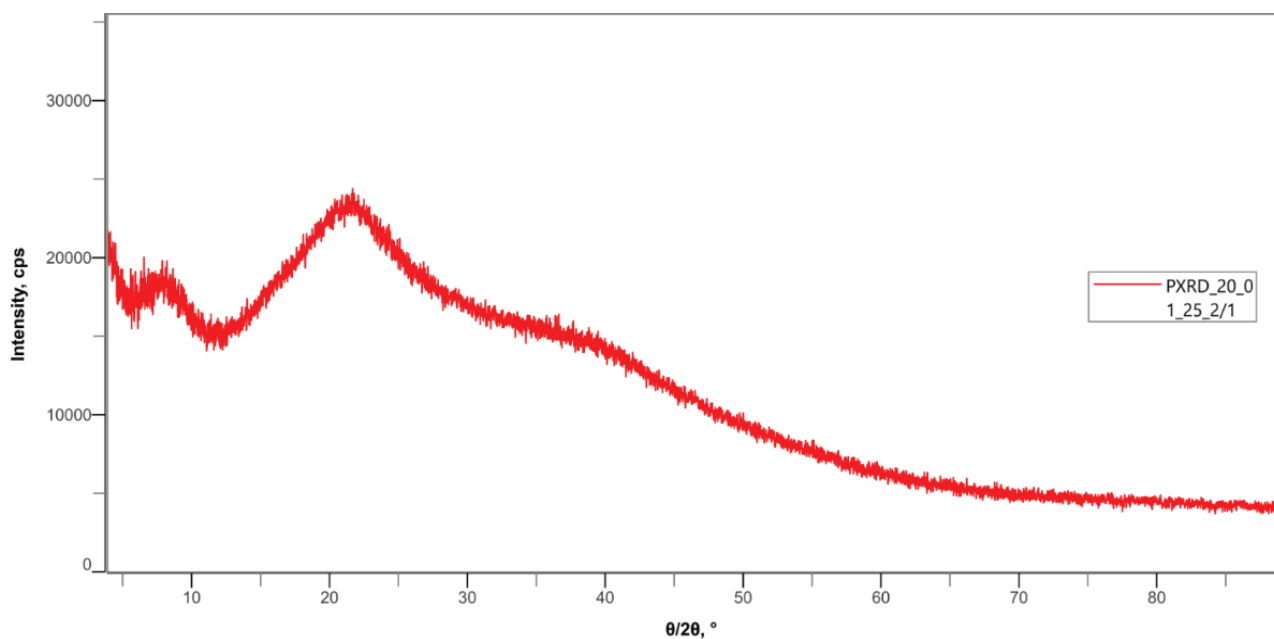
1-rasm.

*Kraxmal fosfat-(akril kislota-akrilamid)/karbamid/perlit/apatit
asosli gidrogelning termik tahlili (TGA/DTA)*



2-rasm.

Olingan gidrogelning rentgen-faza tahlili (XRD).



ajralishi) hamda o'zaro tikilgan uch o'lchamli polimer to'ring buzilishi sodir bo'ladi. Uchinchi bosqichda 417,46 °C dan 601,64°C gacha davom etib, navbatdagi 21,82 % massa yo'qotilishi qayd etilgan. Bu bosqich organik matritsa qoldiqlarining to'liq karbonizatsiya va yonishi bilan tavsiflanadi. Ushbu jarayonni DTA grafigida 459,37 °C da yaqqol namoyon bo'lgan o'tkir ekzotermik cho'qqi ham to'liq tasdiqlaydi. Ushbu kuchli ekzotermik signal polimer zanjirlarining jadal termik oksidlanishga uchraganligini bildiradi. Tahlil yakunida (601.64°C haroratda) materialning umumiy qoldiq massasi taxminan 40.5% ni tashkil qildi. Qoldiq massaning bu qadar yuqori bo'lishi kiritilgan tabiiy perlit va apatitning olovga chidamli anorganik alyumosilikat hamda polimerdagi natriy akrilatidan hosil bo'lgan anorganik tuzlarning yonmasligi bilan bevosita bog'liqdir. Anorganik perlit va apatit zarrachalari polimer zanjirlari orasida issiqlik o'tkazuvchanlik to'sig'i vazifasini bajarib, organik qismning yonishini sekinlashtiradi. TGA/DTA tahlili natijasida ma'lum bo'ldiki sintez qilingan sintez qilingan gidrogel 240 °C haroratgacha o'zining strukturaviy yaxlitligini to'liq saqlab qoldi. Bu esa, kompozit gidrogelni issiq yoz oylarida, O'zbekistonning qurg'oqchil tuproq-iqlim sharoitlarida uzoq muddatli namlik saqlovchi vosita sifatida qo'llash mutlaqo xavfsiz va barqaror ekanligini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Sintez qilingan gidrogelning makromolekulyar zanjirlari qanday tartiblanganligini va materialning kristallik darajasini aniqlash maqsadida rentgen-faza (XRD) tahlili amalga oshirildi. Olingan difraktogramma grafigi shuni ko'rsatadiki, kompozit material o'ziga xos yuqori amorf tuzilishga ega.

Grafikda yuqori intensivlikdagi, o'tkir va tor difraksion cho'qqilar-kristall panjaraga xos bo'lgan signallar deyarli kuzatilmaydi. Buning o'rniga, 20°- 22° burchak oralig'ida keng yoyilgan, yassilangan difraksion balandliklar yaqqol namoyon bo'lgan. Ushbu keng cho'qqi modifikatsiyalangan kraxmalining o'zaro tikilgan zanjirlari hamda unga bog'langan poli (akril kislotasi) makromolekulalarining tartibsiz, tasodifiy joylashgan (amorf) qismlariga tegishlidir. Ma'lumki, tizimga kiritilgan tabiiy perlit va apatit o'z tabiatiga ko'ra yuqori darajada tartiblangan kristall alyumosilikat hisoblanadi. Biroq, kompozitning XRD spektrida perlit va apatitga xos bo'lgan keskin

kristall signallarning yo'qolishi ilmiy jihatdan juda muhim xulosani anglatadi. Bu holat perlit va apatit zarrachalarining erkin radikal polimerlanish jarayonida organik polimer matritsasi bilan mukammal darajada qorishib, uning zanjirlari orasiga chuqur kirib joylashganligini anglatadi. Ya'ni, polimer tarmog'ining zich va ulkan amorf fazasi anorganik perlit va apatit zarrachalarini to'liq qoplab olgan va uning kristallik tabiatini niqoblagan. Shuningdek, polimerizatsiya vaqtida qisman neytrallangan akril kislotasi ishtirokidagi kuchli kimyoviy ta'sirlashuvlar seolitning dastlabki kristall tuzilishini qisman qatlamlarga ajralishiga uchratgan bo'lishi ehtimoli ham yuqori. Gidrogelning aynan shunday yuqori amorf xarakterga ega ekanligi qishloq xo'jaligida namlik saqlovchi vosita sifatida uning amaliy samaradorligini kafolatlovchi asosiy omildir. Chunki kristall tuzilmalar polimer zanjirlarining harakatini cheklab, suv kirishiga to'sqinlik qilsa, amorf fazadagi bo'shliqlar va relaksatsiyaga moyil erkin zanjirlar suv molekularining material ichiga to'siqsiz kirib borishiga qulay sharoit yaratadi.

Qishloq xo'jaligi amaliyotida tuproq va sug'orish suvlari tarkibida turli xil mineral tuzlar bo'lishini hisobga olib, sintez qilingan kompozit gidrogelning sho'rlangan muhitdagi barqarorligi o'rganildi. Sinovlar konsentratsiyasi 1 % li bo'lgan bir valentli NaCl, ikki valentli Na₂SO₄, MgSO₄, CaCO₃ tuz eritmalarida amalga oshirildi.

NaCl eritmasida bir valentli Na⁺ ionlari gidrogel tarkibidagi karboksilat va fosfat guruhlarining manfiy zaryadlarini yopadi. Natijada polimer zanjirlari orasidagi elektrostatik itarilish kamayib, gidrogelning suv shimish sig'imi distillangan suvdagiga nisbatan pasayadi. Na₂SO₄ eritmasida ion kuchi NaCl eritmasiga qaraganda yuqoriroq bo'ladi. Shu sababli polimer ichki va tashqi muhiti orasidagi osmotik bosim farqi kamayadi va gidrogelning bo'kuvchanligi yanada pasayadi. MgSO₄ eritmasida ikki valentli Mg²⁺ ionlari gidrogel tarkibidagi -COO⁻ va fosfat guruhlari bilan ionli bog'lanishlar hosil qiladi. Bunda polimer zanjirlari orasida qo'shimcha ion ko'priklari yuzaga kelib, to'ssimon tuzilma zichlashadi va suv shimish sig'imi keskin kamayadi. CaCl₂ eritmasida Ca²⁺ ionlari karboksilat va fosfat guruhlari bilan kuchli koordinatsion hamda ionli bog'lanishlar hosil qiladi. Ayniqsa, gidrogel tarkibida apatit va kraxmal fosfat mavjudligi Ca²⁺ ionlarining polimer matritsasi bilan o'zaro ta'sirini kuchaytirishi mumkin.

1-jadval.

Gidrogelning sho'rlangan muhitdagi bo'kish barqarorligi

Muhit	Konsentratsiya	Taxminiy bo'kuvchanlik, g/g	Distillangan suvga nisbatan
Distillangan suv	—	416	100%
NaCl	1%	150–180	36–43%
Na ₂ SO ₄	1%	105–140	25–34%
MgSO ₄	1%	60–90	14–22%
CaCl ₂	1%	45–75	11–18%

Gidrogelning ko'p martalik shishish-quritish sikllaridagi barqarorlik ko'rsatkichlari

Sikl soni	Suv shimish sig'imi, g/g	Dastlabki qiymatga nisbatan saqlanishi, %
1	416	100,0
2	402	96,6
3	390	93,8
4	378	90,9
5	367	88,2
6	356	85,6
7	346	83,2
8	336	80,8
9	326	78,4
10	317	76,2

Natijada polimer zanjirlari orasida qo'shimcha ionli ko'ndalang bog'lanishlar hosil bo'lib, gidrogel tarmog'i zichlashadi. Shu sababli 1% li CaCl_2 eritmasida suv shimish sig'imi eng past qiymatlardan birini ko'rsatishi kutiladi.

Gidrogelning qayta foydalanish barqarorligi shishish-quritish sikllari o'rganildi. Kraxmal fosfat-(akril kislot-aakrilamid)/karbamid/perlit/apatit asosidagi kompozit gidrogel distillangan suvda ketma-ket 10 marta shishish-quritish siklidan o'tkazilganda, dastlabki sikllarda suv shimish sig'imi yuqori bo'lib, sikllar soni ortishi bilan asta-sekin kamayishi kutiladi. Agar birinchi sikldagi maksimal bo'kuvchanlik 416 g/g bo'lsa, taxminiy natijalar quyidagicha ifodalanishi mumkin.

Xulosa.

Kraxmal fosfat-(akril kislot-aakrilamid)/karbamid/perlit/apatit asosidagi olingan gidrogelning fizik-kimyoviy hamda funksional xossalari kompleks o'rganildi. Tadqiqot natijalari gidrogelning distillangan suvda yuqori bo'kuvchanlikka ega ekanligini, pH muhitlari va elektrolit eritmalarida esa ion kuchi hamda kation valentligiga bog'liq ravishda bo'kuvchanlik darajasi kamayishini ko'rsatdi. Shishish-quritish sikllari gidrogelning qayta foydalanish imkoniyati va strukturaviy barqarorligini tasdiqladi. TGA va XRD tahlillari esa kompozit tarkibida tabiiy minerallarning mavjudligi gidrogelning termik barqarorligini oshirishi va polimer matritsasini mustahkamlashini ko'rsatdi. Olingan natijalar ushbu kompozit gidrogelning suv tanqisligi kuzaatiladigan hududlarda tuproq namligini saqlash, sug'orish suvini tejash hamda qishloq xo'jaligida ekologik xavfsiz suv ushlovchi material sifatida qo'llash istiqboli yuqori ekanligini tasdiqlaydi.