

BIOPARCHALANUVCHI GIDROGELLARNING QISHLOQ XO‘JALIGIDAGI FOYDALANISH ISTIQBOLLARI

Eshbo‘riyev Tursunali Nasrullayevich

Toshkent kimyo texnologiya instituti Kimyo kafedrası katta o‘qituvchisi

E-mail: tursunalihim@gmail.com; t.eshburiev@tkti.uz

Shirinov Shavkat Davlatovich

Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti katta ilmiy xodimi, PhD

E-mail: shirinov.shavkat1984@gmail.com

Djalilov Abdulahat Turobovich

Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot institute direktori, O‘zR FA Akademik

E-mail: gup_tniixt@mail.ru

Azimov Abdug‘ani Mutalovich

M.Auezov nomidagi Janubiy Qozog‘iston universiteti. “Innovatsion suv tozalash tizimlari” ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi rahbari, PhD

E-mail: azimov-78@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15768859>

Annotatsiya: Ushbu maqolada qishloq xo‘jaligida bioparchalanuvchi gidrogellardan foydalanish istiqbollari o‘rganilgan. Bioparchalanuvchi gidrogellar haqida umumiy ma‘lumotlar keltirilib, sellyuloza hamda GIPAN (gidrolizlangan poliakrilonitril) asosidagi gidrogellarning xususiyatlari tahlil qilingan. Gidrogellarning suv yutish qobiliyati, tuproqda bioparchalanishi va agronomik samaradorligi yuzasidan ilmiy manbalar asosida ma‘lumotlar keltirilgan. Lalmi yerlar (sug‘orilmaydigan hududlar), tomchilatib sug‘orish tizimlari va bog‘dorchilikda gidrogellardan foydalanish misollari ko‘rib chiqilib, ularning suvni tejash, hosildorlikni oshirish va tuproq sifatini yaxshilashga ijobiy ta‘siri ko‘rsatilgan. Tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, bioparchalanuvchi gidrogellar tuproq namligini saqlash va ekinlar hosildorligini oshirishda samarali bo‘lib, atrof-muhitga zarar yetkazmasdan qishloq xo‘jaligining barqarorligini ta‘minlashga xizmat qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: bioparchalanuvchi gidrogel; qishloq xo‘jaligi; suvni ushlab turish; sellyuloza; gidrolizlangan poliakrilonitril (GIPAN).

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Аннотация: В данной статье изучены перспективы использования биоразлагаемых гидрогелей в сельском хозяйстве. Представлена общая информация о биоразлагаемых гидрогелях, проанализированы свойства гидрогелей на основе целлюлозы и ГИПАН (гидролизированный полиакрилонитрил). Приведены сведения о способности гидрогелей поглощать воду, их биodeградации в почве и агрономической эффективности на основе данных научной литературы. Рассмотрены примеры использования гидрогелей на богарных землях (неорошаемых территориях), при капельном орошении и в садоводстве, показано их положительное влияние на экономию воды, повышение урожайности и улучшение свойств почвы. Анализ исследований показывает, что биоразлагаемые гидрогели эффективно сохраняют влагу в почве и повышают урожайность сельскохозяйственных культур, не нанося вреда окружающей среде, и могут способствовать обеспечению устойчивости сельского хозяйства.

Ключевые слова: биоразлагаемый гидрогель; сельское хозяйство; удержание

влаги; целлюлоза; гидролизированный полиакрилонитрил (ГИПАН).

PROSPECTS FOR THE USE OF BIODEGRADABLE HYDROGELS IN AGRICULTURE

Abstract: This article examines the prospects for the use of biodegradable hydrogels in agriculture. It provides general information about biodegradable hydrogels and analyzes the properties of hydrogels based on cellulose and HPAN (hydrolyzed polyacrylonitrile). The water absorption capacity, soil biodegradation, and agronomic efficiency of hydrogels are discussed with reference to scientific literature. Examples of hydrogel application in rainfed (non-irrigated) lands, drip irrigation systems, and horticulture are presented; demonstrating their positive effects on water saving, yield improvement, and soil quality. The analysis of studies indicates that biodegradable hydrogels effectively retain soil moisture and increase crop yields without harming the environment, and they hold significant potential for enhancing sustainability in agriculture.

Keywords : biodegradable hydrogel; agriculture; water retention; cellulose; hydrolyzed polyacrylonitrile (HPAN).

KIRISH

Global iqlim o'zgarishi va suv resurslarining cheklanishi sharoitida qishloq xo'jaligida suvdan samarali foydalanish dolzarb masalalardan biriga aylandi. Hozirgi kunda oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash uchun mavjud suv manbalaridan oqilona foydalanish, ayniqsa quraq va yarim quraq hududlarda, muhim ahamiyatga ega. An'anaviy agrotexnik usullar bilan bir qatorda, yangi texnologiyalar suvni tejash va hosildorlikni oshirishga ko'maklashmoqda. Shunday yechimlardan biri gidrogel texnologiyasidir. Gidrogellar – bu yuqori gidrofil xususiyatga ega bo'lgan uch o'lchamli polimer tarmoqlar bo'lib, ular o'z vaznidan bir necha barobar ko'p suvni shimib olish va ushlab turish qobiliyatiga ega. Tuproqqa qo'shilgan gidrogellar namlikni o'ziga singdirib, sekinlik bilan o'simlik ildizlariga qaytaradi, shu tariqa qurg'oqchilik stressini kamaytiradi va ekinlarning suvga bo'lgan talabini pasaytiradi. Ilmiy tadqiqotlar ko'rsatishicha, gidrogel qo'shimchalari tuproqning suv ushlash xususiyatini oshirishi, suvning sizib ketishi va bug'lanishini kamaytirishi hamda natijada ekinlarning hosildorligini va vegetative davrini yaxshilashi mumkin [1].

Hozirgi kunda bozor va ilmiy tadqiqotlarda mavjud ko'plab gidrogellar sintetik polimerlar (masalan, poliakrilamid, polivinil spirt) asosida ishlab chiqarilgan bo'lib, afsuski ular biologik parchalanmaydi.

Bunday "biodavomiy" (ya'ni tuproqda saqlanib qoluvchi) gidrogellar uzoq muddatda atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatishi va tuproq salomatligi uchun xavf tug'dirishi mumkin. Shu sababli, so'nggi yillarda tabiiy polimerlardan tayyorlangan, muddat o'tishi bilan tuproqda butunlay parchalana oladigan bioparchalanuvchi gidrogellarga qiziqish ortmoqda. Bioparchalanuvchi gidrogellar selluloza, kraxmal, xitozan, pektin kabi tabiiy polimerlardan olinadi va ular tuproqda mikroorganizmlar ta'sirida parchalanib, zararli qoldiq qoldirmaydi. Tabiiy gidrogellar ekologik jihatdan qulay bo'lsa-da, ularning ba'zi xususiyatlari (suv yutish sig'imi va mustahkamligi) sintetik analoglarga nisbatan pastroq bo'lishi mumkin. Shunday bo'lsa-da, ular barqaror qishloq xo'jaligi uchun muqobil yechim sifatida ko'rilmogda [2].

Ushbu maqolada qishloq xo'jaligida aynan **bioparchalanuvchi gidrogellardan** foydalanish masalasi yoritiladi. Dastlab, bioparchalanuvchi gidrogellarning umumiy xususiyatlari va ularning afzalliklari ko'rib chiqiladi. Keyinchalik, keng tarqalgan ikki tur – tabiiy selluloza

asosidagi va sintetik GIPAN asosidagi gidrogellar taqqoslanadi. Shuningdek, gidrogellarning suv singdirish qobiliyati, tuproqda parchalanish holati va agronomik (hosildorlikka, suvdan foydalanish samaradorligiga) ta'siri ilmiy tadqiqotlar misolida tahlil etiladi. Nihoyat, lalmi (sug'orilmaydigan) yerlar, tomchilatib sug'orish texnologiyasi va bog'dorchilik sohalarida gidrogellardan foydalanish tajribalari va istiqbollari muhokama qilinib, xulosalar va tavsiyalar beriladi.

ASOSIY QISM

Bioparchalanuvchi gidrogellar haqida umumiy ma'lumot. Gidrogellar – bu kimyoviy yoki fizik bog'lar orqali tarmoqlangan gidrofil polimerlar bo'lib, ular suvni ko'p miqdorda yuta olish xususiyatiga ega makromolekulyar materiallardir. Gidrogellar quruq holda o'z vaznidan yuzlab barobar ortiq suvni shimib, shishgan holatda uni ushlab tura oladi. Masalan, superyutiluvchan polimer gidrogellar o'zining quruq massasidan 400–500 barobar ko'p suvni singdira oladi. Natijada hosil bo'lgan shishgan gidrogel tuproq namligini saqlash xazinasi vazifasini bajaradi – suvni ushlab turib, tuproq qurigan sayin uni asta-sekinlik bilan o'simlik ildizlariga beradi. Shu tariqa, gidrogellar tuproq namligini barqaror ushlab, qurg'oqchilik sharoitida ham o'simliklarni suv bilan ta'minlashga ko'maklashadi. Ilmiy manbalarda keltirilishicha, gidrogel qo'shilgan tuproqda namlik bug'lanish va chuqur qatlamlarga sizib ketish orqali yo'qolmay, ko'proq saqlanib qoladi, bu esa sug'orishlar sonini kamaytirish va suv tejama erishish imkonini beradi.

Bioparchalanuvchi gidrogellar tushunchasi ostida asosan tabiiy manbalardan olingan, ekologik xavfsiz polimerlar tushuniladi. Bunday gidrogellar tarkibida sellyuloza, kraxmal, kitosan, lignin, alginat kabi tabiiy biopolimerlar bo'lishi mumkin. Ularning asosiy afzalligi – vaqt o'tishi bilan mikroorganizmlar ta'sirida parchalanib ketishi va tuproqda plastik yoki toksik qoldiq qoldirmasligidir. Masalan, sellyuloza asosidagi gidrogellar ma'lum muddat nam muhitda bo'lgach, tarmoq strukturasining degradatsiyasi natijasida oddiy shakarlarga parchalanib, tuproq mikroflorasiga ozuqa bo'lib xizmat qiladi. Shu xususiyat tufayli bunday gidrogellar organik dehqonchilikda ham qo'llanishi mumkin, chunki ular ekologik toza hisoblanadi. Bioparchalanuvchi gidrogellarni ishlatish orqali kelgusida tuproqda to'planib qoluvchi mikroplastik muammosining oldi olinadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, tabiiy polimer gidrogellarning ba'zi kamchiliklari ham mavjud. Ularning mexanik mustahkamligi va suvni ushlab turish ko'rsatkichi ayrim sintetik gidrogellarga nisbatan pastroq bo'lishi mumkin. Masalan, an'anaviy akrilat asosli gidrogellar (polyakrilamid kabi) juda katta miqdorda suv yuta oladi va tuproqda uzoq saqlanadi, ammo ular bioparchalanmaydi. Tabiiy gidrogellar esa bioparchalanadi, lekin ko'pincha maksimal shishish qobiliyati bo'yicha sintetik analoglardan biroz ortda qoladi. Shu bois, zamonaviy tadqiqotlarda tabiiy va sintetik polimerlarni birlashtirgan **gibrid gidrogellar** ustida ham ishlar olib borilmoqda – bunda maqsad tabiiy polimerlarning ekologik afzalliklarini sintetik polimerlarning mustahkamligi va yuqori suv sig'iblan birlashtirishdir. Umuman olganda, bioparchalanuvchi gidrogellar suv resurslaridan foydalanishni optimallashtirish va tuproqni muhofaza qilish vositasi sifatida katta istiqbolga ega ekani ilmiy adabiyotlarda ta'kidlanmoqda [1,2,3].

Sellyuloza va GIPAN asosidagi gidrogellar

Sellyuloza asosidagi gidrogellar: Sellyuloza – yer yuzida eng ko'p uchraydigan tabiiy polimerlardan biri bo'lib, u o'simlik hujayra devorlarining asosiy tarkibiy qismidir. Sellyuloza molekulasida ko'p sonli gidroksil guruhlariga ega bo'lgani tufayli suv bilan yaxshi bog'lana oladi va undan turli hosilalar olinib, gidrogel materiallar sintez qilinadi. Masalan, karboksimetilsellyuloza

(KMS), gidroksietilsellyuloza va boshqa modifikatsiyalangan sellyuloza turlari asosida turli tarmoqlangan gidrogellar yaratilgan. Bunday gidrogellar biologik inert va bioparchalanuvchan bo‘lib, qishloq xo‘jaligida, tibbiyotda hamda atrof-muhitni muhofaza qilishda qo‘llanilmoqda. Ilmiy manbalarda qayd etilishicha, sellyuloza asosidagi gidrogellar keng xomashyo bazasi (sellyulozaning o‘zi arzon va mo‘l) va ularning o‘zida mavjud biodegradatsiya xususiyati tufayli jadal o‘rganilmoqda. Masalan, Montesano va hamkorlar (2015) sellyuloza polimeridan tayyorlangan yangi biodegradatsiya qiluvchi gidrogelni sinovdan o‘tkazib, uning tuproq namligini ushlab turish va o‘simlik o‘sishiga ta’sirini baholadilar. Ushbu gidrogel tuproq nam sig‘imini sezilarli darajada oshirib, o‘simliklarning o‘sishi va sifati yaxshilanishiga olib kelgan (quyida batafsilroq keltiriladi). Sellyuloza asosidagi gidrogellar tuproqda to‘liq parchalanish xususiyatiga ega bo‘lib, parchalanish muddati gidrogelning tarkibi va atrof-muhit sharoitlariga bog‘liq holda o‘rtacha bir necha oydan bir necha vegetatsiya davrigacha bo‘lishi mumkin. Shu bois, bunday gidrogellarni har mavsum boshida qayta qo‘llash talab qilinishi mumkin, biroq ular tuproqni boyituvchi organik moddalarga aylanishi va ekologik sog‘lom muhitni saqlashga ko‘maklashishi bilan qimmatlidir [1,2,4].

GIPAN asosidagi gidrogellar: GIPAN abbreviaturasi rus tilida “gidrolizovanny poliakrilonitril” iborasidan olingan bo‘lib, u **gidrolizlangan poliakrilonitril** degan ma’noni anglatadi. Poliakrilonitril (PAN) – sintetik polimer bo‘lib, uning zanjiridagi nitril guruhlarini qisman gidroliz qilish orqali karboksilat guruhlari hosil qilinadi; natijada polimer suvni o‘ziga tortadigan (gidrofil) xususiyat kasb etadi. GIPAN asosidagi gidrogellar aslida akrilamid-akril kislotasi polimerlari (PAA) oilasiga kiradi va qishloq xo‘jaligidagi ko‘plab “superabsorber” gidrogellarning asosini tashkil etadi. Masalan, dunyoda keng qo‘llanilgan poliakrilamid gidrogellari (ko‘pincha “superfosfat gidrogel” yoki shunga o‘xshash nomlarda) aslida GIPAN hosilalaridir. Ular juda yuqori suv yutish qobiliyatiga ega: laboratoriya sharoitida ba’zi GIPAN asosli superabsorbentlar o‘z vaznidan ming barobar va hatto undan ham ko‘proq suv shimishi mumkinligi haqida ma’lumotlar bor. Biroq amaliy sharoitlarda, ya’ni tuproqdagi sho‘rlar va aralashmalar borligida, ularning haqiqiy suv singdirish ko‘rsatkichi bir oz pastroq bo‘ladi (o‘nlab va yuzlab barobar).

GIPAN asosidagi gidrogellarning asosiy afzalligi – yuqori turg‘unlik va chidamlilikdir. Ular tuproqda bir necha yillar davomida saqlanib, takror-takror suvni shimib-qayta berish tsikllariga dosh bera oladi. Bunday gidrogellar suvni ko‘p marta o‘ziga tortib, quriganda yana qayta takror namlikni shimish qobiliyatini saqlaydi. Shu sababli, 1980–1990 yillarda va hozirgi kunda ham GIPAN/PAA asosidagi gidrogellar qurg‘oqchil hududlarda hosildorlikni oshirish maqsadida keng tatbiq etilgan. Ammo GIPAN gidrogellarining jiddiy kamchiligi shundaki, ularning polimer zanjirlari tabiiy sharoitda oson parchalanmaydi – ya’ni **bioparchalanmaydi**. Tuproqda bunday polimerlar yillar davomida deyarli o‘zgarmagan holda qolishi, asta-sekin fizik maydalanish orqali mikroplastik zarrachalarga ajralishi mumkin. Bu esa uzoq muddatda tuproq ekologiyasiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkinligi haqida tadqiqotchilar ogohlantirmoqda [5,6].

Mahalliy tadqiqotlarda GIPAN asosli gidrogellarni takomillashtirish va ularni qishloq xo‘jaligida ko‘p funksiyali qilish borasida ishlar olib borilmoqda. Jumladan, GIPAN polimerini turli mineral o‘g‘itlar (masalan, NPK kompleksi, fosforli o‘g‘itlar) va o‘sish stimulyatorlari bilan birikitib, “kompleks ta’sirga ega” gidrogellar sintez qilingan va sinovdan o‘tkazilgan. Bunday gidrogellar bir vaqtning o‘zida ham suv akkumulyatori, ham o‘g‘itlarni sekin ajratib beruvchi tizim sifatida xizmat qilishi maqsad qilingan. Dastlabki natijalar shuni ko‘rsatadiki, GIPAN asosidagi polimerga mineral komponentlar qo‘shib olinishi uning suv yutish qobiliyatiga jiddiy ta’sir

qilmaydi, lekin o'simliklarni kerakli elementlar bilan ta'minlash muddatini uzaytiradi. Shuningdek, GIPAN polimerining formaldegid kabi ko'priklavchi agentlar vositasida tarmoqlanish darajasini boshqarish orqali uning shishish tezligi va sig'imi tartibga solinadi – bu ilmiy ishlar natijasida tuproq-iqlim sharoitlariga moslashgan optimal gidrogel tuzilmalarini yaratish imkoni paydo bo'lgan [7].

Xulosa qilganda, sellyuloza asosidagi va GIPAN asosidagi gidrogellar bir-biridan jiddiy farq qiladi: birinchisi to'liq tabiiy va bioparchalanadigan bo'lsa, ikkinchisi sintetik bo'lib, yuqori samaradorlikka ega, ammo parchalanmaydi. Kelajakda qishloq xo'jaligida ekologik xavfsizlikni ta'minlash maqsadida GIPAN singari sintetik gidrogellarga muqobil sifatida tabiiy biopolimer gidrogellarni qo'llash ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, mavjud sintetik gidrogellardan imkon qadar oqilona foydalanish, ularni tuproqdan qayta ajratib olish yoki parchalovchi qo'shimchalar yordamida degradatsiyaga uchratish kabi choralar ham ilmiy izlanishlar obyekti.

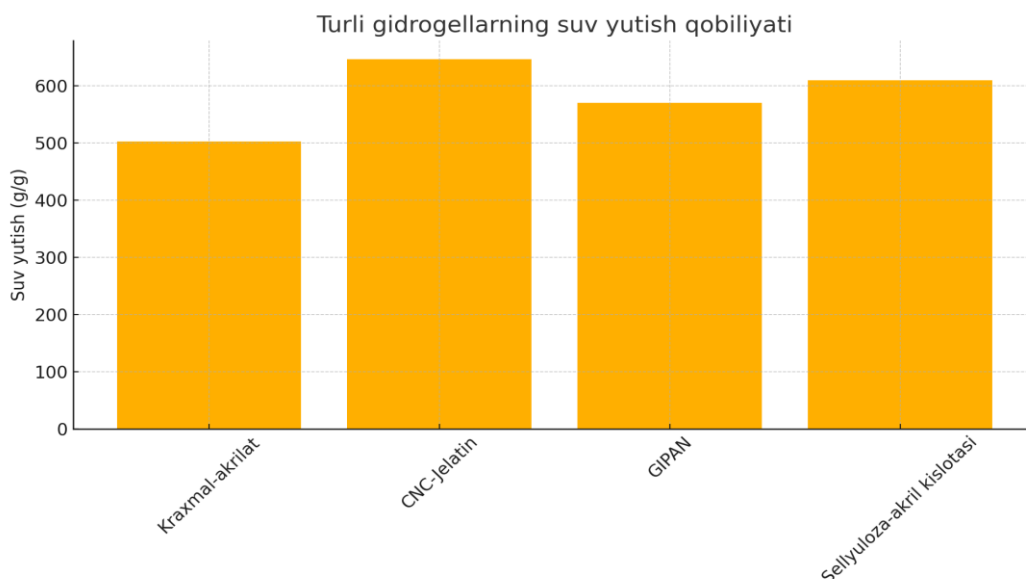
Gidrogelning suv yutish, bioparchalanish va agronomik samaradorligi

Gidrogellarning eng muhim xususiyatlaridan biri – ularning **suv yutish (shishish) qobiliyati** va shishgan holda suvni ushlab turish kuchidir. Yuqorida ta'kidlanganidek, superabsorbent gidrogellar distillangan suvda o'z vaznidan yuzlab barobar ko'p suvni shimishi mumkin. Real tuproq sharoitida esa gidrogelning yutish qobiliyati tuproq eritmasining sho'rli, harorati va boshqa omillarga bog'liq bo'lib, odatda biroz kamayadi. Shunday bo'lsa-da, hatto 0,1–0,5% miqdorda (tuproq massasiga nisbatan) gidrogel qo'shish tuproqning umumiy suv sig'imini sezilarli darajada oshira oladi. Masalan, Italiya olimlari qumli tuproqqa 2% (massa bo'yicha) sellyuloza asosli biogidrogel aralashtirib, tuproqning dala nam sig'imi (mayda kapillyarlarda ushlanadigan namlik) nazoratdagiga nisbatan **to'rt baravar** oshganini aniqlashgan. Bunda tuproqning doygunkilik holatidagi namligi juda yuqori darajaga yetib, hatto doygunkilik holdagi nazorat tuproq namligidan ham ko'proq suv saqlana olgan. Shuningdek, o'sha tajribada qurish nuqtasidagi namlik hajmi ham gidrogel qo'shilmagan tuproqning dala nam sig'imi darajasiga tenglashgani kuzatilgan, ya'ni gidrogel tuproqni “nam bufer” holatida ushlab turishini ko'rsatgan. Boshqa bir tadqiqotda, perlit kabi suvni kam ushlovchi substratga atigi 1–2% gidrogel aralashtirish natijasida substratning suv sig'imi 28–48% ga oshgani qayd etilgan. Bu misollar gidrogellar hatto kichik konsentratsiyalarda ham tuproqning suv tutish xususiyatlarini keskin yaxshilashini tasdiqlaydi.

Bioparchalanuvchi gidrogellarning **tuproqda degradatsiya bo'lishi** ularning ekologik hayotiyliigi va agronomik samaradorligini ta'sir etuvchi muhim jihatdir. Tabiiy polimerlardan tayyorlangan gidrogellar odatda tuproq mikroorganizmlari tomonidan fermentativ parchalanish yo'li bilan vaqt o'tishi bilan parchalana boshlaydi. Masalan, sellyuloza asosli gidrogel tuproqqa singdirilgach, bir necha oy ichida uning massasi kamayib borishi va yakunda CO₂ va suvga qadar parchalanishi mumkin. **Bioparchalanish tezligi** gidrogelning kimyoviy tuzilishi va cross-link (ko'priklash) darajasiga bog'liq: kuchliroq tarmoqlangan gidrogel sekinroq parchalanadi, pastroq tarmoqlangan (yoki suvda eruvchanroq) polimerlar esa tezroq yemiriladi. Bundan tashqari, tuproqning namligi, harorati va biologik faolligi ham parchalanish sur'atini belgilaydi. Optimal sharoitda, masalan, issiq-iqlimiy hududlarning nam tuproqlarida, gidrogel bir vegetatsiya davri oxiriga kelib ancha qismini yo'qotishi mumkin. Gidrogellar biologik parchalanganda tuproqda zaharli qoldiq qoldirmaydi – bu ularning sintetik, parchalanmaydigan polimerlardan katta ustunligidir. Tadqiqotchilarning qayd etishicha, tuproqda parchalanmaydigan gidrogel polimerlar yillar davomida to'planib, tuproq strukturasi o'zgartirishi va ekologik muammolarga olib kelishi mumkin, shu bois kelajakda **to'liq bioparchalanadigan** gidrogellarni yaratish muhim yo'nalish hisoblanadi [4,5,6].

1-jadval. Turli gidrogellarning suv yutish ko'rsatkichlari

Gidrogel turi	Suv yutish (g/g)
Kraxmal-akrilat	503
CNC-Jelatin	647
GIPAN	570
Sellyuloza-akril kislotasi	610



1-rasm. Turli gidrogellarning suv yutish qobiliyati grafigi.

Agronomik samaradorlik nuqtayi nazaridan gidrogellarning qo'llanilishi bir qator ijobiy effektlar beradi. Avvalo, gidrogel tuproqning namlik rejimini yaxshilagani tufayli o'simliklar qurg'oqchilik stressiga kamroq uchraydi, bu esa vegetatsiya davrida hosilning saqlanishiga yordam beradi. Kuzatishlarga ko'ra, gidrogel qo'shilgan tuproqda o'simliklarning unib chiqishi va dastlabki rivojlanishi yaxshilanadi – namlik yetarli bo'lgani uchun urug'larning unib chiqishi va boshlang'ich o'sish ko'rsatkichlarini sezilarli oshirgani aniqlangan (turli manbalarda keltirilgan). Gidrogelning hosildorlikka ta'sirini dalada o'rganishlar ham e'tiborga molik natijalar bergan. Markaziy Osiyoda, xususan Tojikiston sharoitida o'tkazilgan tajribada, **lalmi yerda** gidrogel qo'llanishi xom paxta hosildorligini gektariga 0,95 tonnaga, kuzgi bug'doy hosildorligini 1,2 tonnaga oshirganligi qayd etilgan. Bu tajribada gidrogel ishlatish ayniqsa sug'orilmaydigan dehqonchilikda katta samara bergani, barqaror hosil olishni ta'minlagani ta'kidlangan. Gidrogel tuproq namligini saqlab qolgani bois, vegetatsiya davomida qo'shimcha sug'orishlarsiz ham o'simliklar o'sishini ta'minlagan. Sug'oriladigan sharoitda esa gidrogel qo'llash natijasida suv sarfi **kamida 40%** ga qisqartirilishi mumkinligi, chunki sug'orishlar oralig'i uzayishi va har galgi sug'orishda beriladigan suv me'yori kamayishi ta'kidlanmoqda. Misol uchun, Misrda o'tkazilgan bir tajribada, marul (salat bargi) o'simligini yetishtirishda sug'orish me'yorini 15% ga qisqartirib (ya'ni 85% ET_c darajasida sug'orib), tuproqqa 0,3% gidrogel qo'shilganda, hosil hajmi sezilarli kamaymasdan suvdan foydalanish samaradorligi maksimumga erishilgan. Bu shuni

ko'rsatadiki, gidrogel qo'llash suv tanqisligida hosildorlikni ushlab qolishga yoki kam suv bilan yuqori natija olishga yordam beradi.

Gidrogellar nafaqat suv bilan ta'minlash, balki oziqlantirish samaradorligini ham oshirishi mumkin. Gidrofob tuproqlarda yoki qumli tuproqlarda azot, fosfor kabi oziq moddalar sug'orish va yomg'ir suvi bilan yuvilib ketishi odatiy hol. Gidrogellar esa tuproq eritmasini gel strukturada ushlab turib, mineral o'g'itlarning ham yuvilib ketishini kamaytiradi. Misol uchun, gidrogel bilan birga berilgan azotli o'g'itlar tuproqda uzoqroq saqlanib, o'simliklar tomonidan ko'proq o'zlashtirilishi mumkin – chunki gidrogel nam muhit yaratib, o'g'itlarning bir qismini o'ziga adsorbsiya qiladi va ularni sekinlik bilan ajratib beradi. Yuqorida keltirilgan Tojikiston tajribasida ham gidrogel qo'llash natijasida mineral o'g'itlarning yuvilib ketishi qisqargani, tuproqdan o'g'itlarning samarasiz yo'qolishi kamaygani ta'kidlangan. Demak, gidrogel qo'llash bir yo'la **suv rejimini, ovqatlanish rejimini** va umuman **agroekologik holatni** yaxshilaydi, natijada agronomik ko'rsatkichlarni (hosil miqdori va sifati, suvning har bir hosil birligiga sarfi va boshqalar) yaxshilashga xizmat qiladi.

Lalmi yerlar, tomchilatib sug'orish va bog'dorchilikda qo'llanilishi

Lalmi yerlar (sug'orilmaydigan hududlar): Lalmi dehqonchilik sharoitida ekinlar faqat tabiiy yog'ingarchilikka tayanadi. Bunday hududlarda qurg'oqchilik xavfi yuqori bo'lib, yil fasllariga qarab tuproq namligi keskin o'zgarib turadi. Gidrogellar lalmi yerlar uchun ayniqsa foydali bo'lishi mumkin, chunki ular yog'ingarchilik davrida o'ziga suvni yutib, tuproqda saqlaydi va qurg'oqchilik davrida o'simliklar foydalana oladigan zaxira sifatida xizmat qiladi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, lalmi sharoitda urug' ekish paytida tuproqqa gidrogel aralashtirilsa, keyingi yog'ingarchilik suvlari samarasiz sizib ketmay, gidrogel tomonidan ushlanadi va urug'larning unish davrida yetarli namlikni ta'minlaydi. Bu usul, xususan, O'zbekiston va Tojikistonning boqoni yerlari hamda tog' oldi hududlarida samarali bo'lishi mumkin. Yuqorida keltirilgan Markaziy Osiyo tadqiqotida (Pulatov va boshq, 2024) gidrogel qo'llangan lalmi maydonlarda paxta va bug'doy hosildorligi an'anaviy usulga nisbatan ancha yuqori bo'lganligi buning yorqin misolidir. Bunda gidrogel yomg'ir suvlarini o'zida saqlab, vegetatsiya davrida o'simliklarga uzluksiz namlik uzatib turgani ta'kidlangan. Shuningdek, gidrogel ishlatilgan dala kuzda haydalib, keyingi yilga qolganida ham tuproqning namlik tutish xususiyati avvalgiga qaraganda yuqori bo'lishi kuzatilgan – bu gidrogelning qoldiq ta'siri natijasidir (garchi uning asosiy qismi biologik parchalanib ketgan bo'lsa ham). Lalmi dehqonchilikda gidrogelning bunday qo'llanilishi yilning quyi yog'ingarchilik davrida ham barqaror hosil olish, qurg'oqchilik xavfini kamaytirish imkonini beradi [4,8].

Tomchilatib sug'orish va gidrogellar: Tomchilatib sug'orishning o'zi suvni tejaydigan zamonaviy texnologiya bo'lib, an'anaviy usullarga nisbatan 30–50% kam suv sarflaydi. Biroq tomchilatib sug'orishda ham sug'orishlar oralig'ida tuproqning yuqori qatlami tez qurib qolishi va o'simliklar stress olishi mumkin. Gidrogellarni tomchilatib sug'orish tizimlari bilan integratsiya qilish bu muammoni hal etishga yordam beradi. Xususan, tomchilatuvchi lenta yaqinidagi tuproqqa gidrogel granulalarini aralashtirib chiqilsa, har bir sug'orishda berilgan suvning bir qismi gidrogel tomonidan ushlab qolinadi va keyingi kunlarda asta-sekin ildiz zonasiga berib boriladi. Bu esa tomchilatib sug'orishda sug'orishlar orasidagi intervalni uzaytirish, sug'orish sonini kamaytirish imkonini yaratadi. Masalan, bog'dorchilik plantatsiyalarida (mevali daraxtlar) har bir ko'chat atrofidagi tuproqqa gidrogel (masalan, 100–200 g) solib chiqilsa, tomchilatib sug'orish tizimi orqali berilgan suvning sezilarli qismi gel orqali zaxiralab qo'yiladi va tuproq uzoqroq muddat nam bo'lib turadi. Natijada, issiq yoz kunlarida ham daraxtlar xuddi doimiy nam

tuproqda o'sgandek barqaror o'sish ko'rsatadi, sug'orish esa kamroq talab etiladi. Ilmiy tadqiqotlarda keltirilishicha, gidrogel va tomchilatib sug'orishni uyg'unlashtirish suvdan foydalanish samaradorligini maksimal darajaga yetkazadi – ayrim hollarda odatdagiga nisbatan 40% ga yaqin suv tejallishi, lekin hosildorlik pasaymasligi kuzatilgan. Bundan tashqari, gidrogel tuproqda o'g'itlarning bir tekis taqsimlanishiga ham xizmat qiladi, chunki tomchilatib beriladigan ozuqaviy eritma gel tomonidan ushlanib, ildiz mintaqasida yuqori konsentratsiya hosil qilmaydi va yuvilib ketmaydi.

Bog'dorchilik va ko'chatchilik: Gidrogellardan foydalanish bog'dorchilikda–xususan, daraxtlar, meva-sabzavotlar va gulchilikda–keng istiqbolga ega. Mevali daraxtlar ko'p yillik bo'lgani bois, ular uchun tuproq namligi va oziqlanish sharoiti yil sayin yig'ilib boruvchi ta'sirga ega. Gidrogellar tuproqni yumshoqroq va nam saqlashga yordam berib, daraxtlarning ildiz tizimi yaxshiroq rivojlanishini ta'minlaydi. Misol uchun, Misrda mango daraxtlarida o'tkazilgan tajribada tuproq har bir daraxt uchun 250 g, 500 g va 750 g gidrogel bilan ishlov berilganda, barchasida nazorat guruhiga nisbatan kuchli o'sish va hosil ortishi kuzatilgan, eng yuqori natija 750 g gidrogel berilgan daraxtlarda qayd etilgan. Xususan, 750 g gidrogel qo'llangan mango daraxtlarida barg yuzasi, novda uzunligi va butun daraxt shox-shabbasi hajmi sezilarli darajada oshgan, hosil mevalarining soni va sifati ham yaxshilangan. Gidrogelning bunday samarasi uning tuproq atrofidagi mikroiklimni yaxshilashi bilan bog'liq: gidrogel tuproq namligini oshirib, ortiqcha suvni ushlaydi va tuproqni yumshoq nam holatda ushlab turadi, shu bilan birga o'g'itlar ham bir maromda saqlanadi. Boshqa misol tariqasida, zaytun daraxtlari ostiga gidrogel kiritilganda tuproq namligi yuqori bo'lib, o'simlik barglarining kunduzgi transpirasiyasi (stomalar ochiqligi) oshgani, shoxlarning o'sishi tezlashgani va hatto olingan zaytun moyi hosildorligi yuqorgi bo'lganini olimlar kuzatishgan. Sitrus (masalan, apelsin, mandarin) bog'larida ham gidrogel qo'llash bo'yicha tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tuproqqa 1 kg/ta daraxt atrofida gidrogel solish natijasida daraxtlarning meva berish ko'rsatkichlari va meva sifati sezilarli oshadi. Murcott navi mandarin daraxtlarida 250–750 g gidrogel berish orqali barg o'sishi, meva og'irligi va umumiy hosil hajmi oshgani haqida xabar berilgan.

Ko'chatxonalar va issiqxonalarda ham gidrogellardan foydalanish yaxshi samara beradi. Ko'chat yetishtirishda tuproq-aralashmaga qo'shilgan gidrogel substratning namlik sig'imini oshirib, ko'chatlarning suv stressiga chidamini kuchaytiradi. Masalan, gul ko'chatlarini idishlarda o'stirishda tuproqqa oz miqdorda gidrogel aralashtirilsa, sug'orishlar orasidagi oraliq uzayadi va ko'chatlar ba'zan sug'orib ulgura olmaslik holatlarida ham qurib qolmaydi – gidrogel zaxira suvni beradi. Ayniqsa, manzarali gulchilikda gidrogel ishlatish bilan o'simliklarning barg va gullarining so'lish va qurishi sekinlashadi, ularning "raf umrini" uzaytiradi, deb ta'kidlanadi. Bir so'z bilan aytganda, bog'dorchilik va ko'chatchilikda gidrogellar o'simlik parvarishini yengillashtiradi, stress omillarini kamaytiradi va mahsulot sifatini yaxshilaydi [8].

XULOSA VA TAVSIYALAR

Bioparchalanuvchi gidrogellar qishloq xo'jaligida suv resurslaridan oqilona foydalanish va barqaror hosildorlikni ta'minlash yo'lida istiqbolli vosita sifatida e'tirof etilmoqda. Yuqorida keltirilgan tahlillar va misollar shuni ko'rsatadiki, bunday gidrogellar tuproqning namlik sig'imini oshirish, namlikni ushlab turish va o'simliklar ildiz zonasiga yetkazib berishda samarali instrument bo'lib xizmat qiladi. Bioparchalanuvchi gidrogel qo'llash natijasida ekinlar qurg'oqchilik stressini yengilroq kechirishadi, sug'orish suviga bo'lgan ehtiyoj qisqaradi, hosildorlik va hosil sifati yaxshilanadi. Eng muhimi, tabiiy polimerlardan iborat gidrogellar o'z vazifasini bajargach, tuproq muhitida asta-sekin parchalanib ketadi va atrof-muhitga zarar yetkazmaydi. Bu jihatdan ular

an'anaviy sintetik gidrogellarga nisbatan ekologik afzalliklarga ega – tuproqda mikropolimer chiqindi qoldirmaydi, tuproqning biologik faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi, aksincha, parchalanganda tuproqni organik moddalar bilan boyitadi.

Shu bilan birga, bioparchalanuvchi gidrogellardan amaliy foydalanishda e'tiborga olish lozim bo'lgan ba'zi masalalar ham mavjud. Birinchidan, bunday gidrogellar sintetik analoglarga qaraganda tuproqda tezroq parchalangani uchun ularning ta'siri vaqtincha bo'ladi – odatda bir vegetatsiya mavsumi davomida. Demak, yuqori samaraga erishish uchun har vegetatsiya boshida yoki ma'lum bir muddatda gidrogelni qayta qo'llash talab qilinishi mumkin. Bu esa qo'shimcha xarajat va mehnat talab etadi. Shu nuqtai nazardan, kelgusida bioparchalanuvchi gidrogellarning iqtisodiy samaradorligini oshirish, ya'ni arzon xomashyodan oson usulda ko'p miqdorda olish va dehqonlar uchun qulay shakllarda (granula, kukun, gel, kapsula va hokazo) taqdim etish muhim ilmiy-texnik vazifa hisoblanadi. Ikkinchidan, har xil tuproq-iqlim sharoitlarida gidrogelning optimal dozasini belgilash zarur. Chunki tuproqning mexanik tarkibi, organik moddalar miqdori, sho'rlik darajasi kabi omillar gidrogel samaradorligiga ta'sir qiladi. Masalan, qumli tuproqlarda gidrogel yuqori natija bersa, og'ir loy tuproqlarda uning ta'siri biroz cheklanishi mumkin (tuproqning o'zi namlikni ushlab turish xususiyati yaxshi bo'lgani uchun). Shu sababli, har bir mintaqada tajribaviy ravishda gidrogel qo'llash me'yorlari va usullari ishlab chiqilishi tavsiya etiladi.

Uchinchi muhim masala – gidrogellarni o'g'itlar, pestitsidlar va boshqa agrotexnik chora-tadbirlar bilan uyg'unlashtirishdir. Yuqorida aytib o'tilganidek, gidrogelning bir qator foydali xususiyatlari bor – u suvni saqlaydi, o'g'itning yuvilib ketishini kamaytiradi, tuproq tuzilishini yaxshilaydi. Agar gidrogel granulalari tarkibiga **minerallar** yoki **mikroelementlar** biriktirilsa, ular ikki tomonlama foyda beradi: bir tomondan suv, bir tomondan oziq moddalarni sayoz qatlamda saqlab, o'simlikka uzatadi. Hozirgi kunda "aqlli" (intellektual) deb ataluvchi gidrogellar ustida tadqiqotlar olib borilmoqda – bular atrof-muhit sharoitiga qarab suv va ozuqa moddalarini dozalar ajrata oladigan polimer tizimlardir. Masalan, tuproq quruqlashganda suvni berib, namlanganda ushlab qoluvchi, yoki tuproq eritmasidagi muayyan ion konsentratsiyasi ma'lum darajaga yetganda ortiqchasini o'ziga yutib, keyin asta ajratuvchi gidrogellar konsepsiyasi ilgari surilmoqda. Bu yo'nalishdagi izlanishlar yaqin kelajakda qishloq xo'jaligida yanada tejamkor va samarali resurslardan foydalanish imkonini berishi mumkin.

Xulosa o'rinda aytganda, bioparchalanuvchi gidrogellar qishloq xo'jaligida innovatsion yechim bo'lib, suv tanqisligi sharoitida hosildorlikni oshirish, resurslarni tejash va atrof-muhitni muhofaza qilish kabi bir-biriga uzviy bog'liq vazifalarni hal etishda muhim rol o'ynashi mumkin. Tavsiya etiladiki, O'zbekiston sharoitida ham turli ekinlar va tuproqlarda bunday gidrogellarni qo'llash bo'yicha dala tajribalari kengroq o'tkazilsin. Mahalliy xomashyo – paxta tolasi chiqindilari (linters), qamish, makkajo'xori po'stlog'i kabi selluloza manbalaridan – foydalanib arzon biogidrogellar ishlab chiqarish imkoniyatlarini izlasa arziydi. Shu bilan birga, qishloq xo'jaligi ishlab chiqaruvchilarini gidrogel texnologiyalaridan xabardor qilish, ularni qo'llash bo'yicha qo'llanmalar ishlab chiqish va iqtisodiy rag'batlar (masalan, suvni tejaydigan texnologiyalar uchun subsidiyalar) joriy etish ham muhim ahamiyatga ega. Bioparchalanuvchi gidrogellarni joriy etish bilan biz kelajakda suv resurslarini tejash, tuproq unumdorligini saqlash va oshirish hamda barqaror qishloq xo'jaligini rivojlantirish yo'lida muhim qadam qo'ygan bo'lamiz.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Montesano F.F., Parente A., Santamaria P., Sannino A., et al. (2015). Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 451–458. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052
2. Agbna G.H.D., Zaidi S.J. (2025). Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review. *Gels*, 11(4): 276. DOI: 10.3390/gels11040276
3. Abdelghafar R., Abdelfattah A., Mostafa H. (2024). Effect of super absorbent hydrogel on hydro-physical properties of soil under deficit irrigation. *Scientific Reports*, 14: 7655. DOI: 10.1038/s41598-024-57786-5
4. Pulatov Sh.Ya., Pulatov Ya.E., Matyakubov B.Sh., Razakova G. (2024). Study of hydrogel application as an innovation in water conservation to increase productivity of water and land resources in Central Tajikistan. *E3S Web of Conferences*, 563: 03054. DOI: 10.1051/e3sconf/202456303054
5. Alshallash K., Alharbi K., Selim M., Mostafa Y.S., Alhaga M. (2022). Hydrogel Improved Growth and Productive Performance of Mango Trees under Semi-Arid Condition. *Gels*, 8(10): 602. DOI: 10.3390/gels8100602
6. Sannino A., Demitri C., Madaghiele M. (2009). Biodegradable Cellulose-Based Hydrogels: Design and Applications. *Materials (Basel)*, 2(2): 353–373. DOI: 10.3390/ma2020353
7. Технология получения новых гидрогелей комплексного действия для сельского хозяйства // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Шеркузиев Д.Ш. [и др.]*. 2020. № 4 (73). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/9244>
8. Park J., Guan W., Yu G. (2025). Smart Hydrogels for Sustainable Agriculture. *EcoMat*, 7(4): e70011. DOI: 10.1002/eom2.70011