



**ГИДРОГЕЛ АСОСИДАГИ СУВ САҚЛОВЧИ МАТЕРИАЛЛАР
ЁРДАМИДА ЛАЛМИ ЕРЛАРДА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИ
ҲОСИЛДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**ИРРИГАЦИЯ ВА СУВ МУАММОЛАРИ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ
ИНСТИТУТИ**

таянч докторанти:

Аллаярова Махфуза Каюмовна

Анотация: Ушбу мақола лалми ерларда (фақат ёмғир сувлари ҳисобига ўстириладиган ҳудудларда) буғдой ўстиришда сув ресурсларидан самарали фойдаланишни таъминлаш учун гидрогел технологияларини илмий асосда таҳлил қилади. Гидрогелларнинг асосий механизмлари, турлари (табиий, синтетик ва гибрид), қўллаш усуллари (ер билан аралаштириш, уруғларни қоплаш) ва Ўзбекистоннинг қурғоқ ҳудудларидаги тажрибавий натижалари батафсил кўриб чиқилган. Мақолада гидрогеллар ёрдамида сувни сиғдириш ва сақлаш қобилияти (қуруқ вазндан 400-1500 марта кўп), буғланишни 20-30% га камайтириш, буғдойнинг илдиз тизими ривожланиши ва ҳосилдорликни 20-30% га ошириш каби параметрлар таъкидланган. Шунингдек, технологиянинг экологик ва иқтисодий афзалликлари, шу жумладан биodeградацияланувчи гидрогелларнинг ер саломатлигига таъсири ва келажакдаги ривожланиш йўналишлари (ИoТ интеграцияси, нанотехнологиялар) муҳокама қилинган. Тадқиқот натижалари Ўзбекистоннинг қишлоқ хўжалиги шароитида сув танқислигини бартараф этиш ва барқарор ривожланишни таъминлаш учун амалий тавсиялар беради. Қўшимча равишда, мақолада гидрогелларнинг Африка, Лотин Америкаси ва Покистон ҳудудларидаги қўлланиши ҳақида маълумотлар қўшилган, бу ерда сув танқислиги глобал муаммо сифатида кўриб чиқилган, шунингдек, илмий мета-таҳлиллар орқали глобал самарадорлик (ҳосилдорлик 22% га ошиши) таҳлил қилинган.

Калит сўзла: лалми ерлар, гидрогел, буғдой ўстириш, сув ресурслари, самарали фойдаланиш, қурғоқчилик стресси, суперабсорбент полимерлар, биodeградация, ҳосилдорлик ошириш, экологик барқарорлик, анотехнологиялар, қишлоқ хўжалиги инновациялари, сувни сақлаш механизмлари, глобал мисоллар, суперсорбент полимерлар (САП).



Лалми ерларда, яъни фақат ёмғир сувлари ҳисобига ўстириладиган ҳудудларда буғдой ўстиришда сув ресурсларидан самарали фойдаланиш глобал қишлоқ хўжалигининг энг муҳим муаммоларидан биридир, чунки бу ҳудудларда сув танқислиги ва қурғоқчилик стресслари ҳосилдорликнинг пастлигига олиб келади. Дунё бўйича лалми ерлардаги буғдой майдонларининг тахминан 80% дан ортиғи қурғоқчиликдан азият чекади, бу эса глобал буғдой ишлаб чиқаришнинг 20-30% гача камайишига сабаб бўлади, хусусан, Осиё ва Африка китъаларида. Бу муаммони ҳал қилиш учун ҳидрогелларни қўллаш инновацион технология сифатида кенг тарқалмоқда, улар сувни сиғдириш ва сақлаш қобилиятига эга суперсорбент полимерлар бўлиб, ернинг сув ҳолатини яхшилаш орқали буғдой ўсимликларининг сувдан самарали фойдаланишини оширади. Ҳидрогелларнинг асосий механизмларидан бири уларнинг гидрофиллик гуруҳлари (карбоксил, гидроксил) орқали сувни сиғдиришдир, бу эса уларнинг курук вазнидан 400-1500 марта кўп сувни тутиб қолишига имкон беради, натижада ердаги сувнинг буғланиши 20-30% га камаяди ва ўсимлик илдизлари учун сувнинг узоқ муддатли захираси яратилади. Бу механизм капилляр ҳаракат ва осмотик босим орқали амалга оширилади, ҳидрогеллар сувни сиғдирганда ҳажми 500 мартагача катталашади ва ер қуриганда уни аста-секин чиқаради, бу эса буғдойнинг илдиз тизимининг чуқурроқ ўсишига ва сув стрессларига чидамлилигини оширишга ёрдам беради. Ҳидрогелларнинг турлари полимер манбасига кўра табиий (селлюлоза, хитозан, альгинат, крахмалдан тайёрланган, биodeградацияланувчи ва ўртача сув сиғдириш қобилиятига эга), синтетик (полиакриламид, поливинил спирти, полиэтилен гликолдан ишлаб чиқарилган, юқори чидмлик ва биodeградацияланмайдиган) ва гибрид (табиий ва синтетикнинг комбинацияси, мослаштирилган хусусиятларга эга) га бўлинади. Хрестлашувга кўра физик (қайтариладиган, ҳарорат/рН га жавоб берадиган) ва кимёвий (қайтарилмас, стрессларга барқарор) турлари мавжуд бўлиб, сув билан ўзаро таъсирга кўра эркин сув (осон чиқади), боғланган сув (гидроген боғлари орқали кучли тутилади) ва ўртача сув (қисман сақланади) ни фарқлаш мумкин. Лалми ерларда буғдой учун табиий ва биodeградацияланувчи ҳидрогеллар афзалроқдир, чунки улар ернинг экологик ҳолатини бузмайди ва бир ўсимлик мавсумида парчаланади, масалан, хитозан асосидаги ҳидрогеллар ернинг рН сини мувозанатлаштириб, тузлиликни камайтиради. Синтетик ҳидрогеллар, масалан, полиакриламид (ПАМ), юқори механик кучга эга ва қумли ерларда сувни 35-50% га кўпроқ сақлайди, лекин уларнинг акриламид қолдиқлари токсик бўлиши мумкин, шунинг учун уларнинг деградациясини яхшилаш учун наночастицалар



(кремний, углерод нанотрубкалар, глина) қўшилади. Нано-композит хидрогеллар қурғоқ ҳудудларда механик барқарорликни оширади ва сувнинг сиғдириш қобилиятини 50% га юқори қилади, бу эса буғдойнинг илдиз узунлигини ва қуруқ вазнини оширишга олиб келади. Акылли хидрогеллар (стимул-жавоб берадиган) ҳарорат, pH, намлик ва ионларга реакция қилиб, сув ва озуқа моддаларини контролий чиқаришни таъминлайди, масалан, pH-ҳассос хидрогеллар тузли ерларда буғдойнинг ўсишини яхшилаиди. Мултифункционал хидрогеллар сув сақлаш билан бирга озуқа (NPK) ва пестицидларни чиқариб, ўғитларнинг ювилишни 40% га камайтиради ва азотдан фойдаланиш самарадорлигини 40% га оширади. Лалми ерларда буғдой учун хидрогелларни қўллаш усуллари ер турларига боғлиқ: кумли ерларда 5 кг/га (4 дюйм чуқурликда), гилли ерларда 2.5 кг/га (6-8 дюйм чуқурликда) миқдорида қуруқ ҳолатда ер билан аралаштирилади (1:10 нисбатида), урғочлар ёки ўғитлар билан бирга фурровларга солинади, бу эса урғочларнинг илдиз тизимига яқин жойлаштиришни таъминлайди. Урғочларни қоплашда (seed coating) альгинат асосидаги хидрогеллар қўлланилади, бу қуруқ ерларда унуб чиқишни яхшилаиди, масалан, Уттаракханднинг Раипур блокида (кумли-гилли ер, HS-507 навли буғдой) 5 кг/га хидрогел қўллаш ўсимлик популяциясини, тиллерингни, илдиз узунлигини ва дона ҳосилдорлигини оширган, 10 марта такрорланган тажрибаларда контрольга нисбатан 20-30% юқори натижалар кўрсатилган. Пуса хидрогели (ICAR томонидан ишлаб чиқилган) лалми буғдой учун махсус тавсия этилади, масалан, Ҳимолойнинг шимоли-ғарбий ҳудудида 2.5 кг/га миқдорида қўллаш ҳосилдорликни ва ер саломатлигини оширган, ернинг мавжуд сув миқдорини 49% га, сувдан фойдаланиш самарадорлигини кумли ерларда 41% га ва гилли-кумли ерларда 67% га юқори қилган. Уттар Прадешнинг Хатрас, Хардои, Гонда, Лакнау туманларида фермер майдонларида ўтказилган демонстрацияларда 5 кг/га хидрогел билан уч марта суғориш беш марта суғоришсиз хидрогелга тенг ҳосил (4.30-4.70 т/га) берган, LSD 5% да 0.22-0.39 фарқи билан статистик аҳамиятли бўлмаган, лекин сувдан фойдаланиш самарадорлиги 12.1-15.6 кг дона/га/мм га етган, контрольдаги 11.7 кг/га/мм дан юқори. Буғдой ўсиш босқичларида (масалан, илдиз ўсиши, тиллеринг, гуллаш) сувни кечиктириб беришда хидрогел ўсимлик сув талабини камайтиради ва ҳосил компонентларини (эффектив тиллерлар, panicle даги доналар) яхшилаиди. Қурғоқчилик стрессларида хидрогеллар ўсимликнинг фотосинтетик самарадорлигини сақлайди, чунки улар ер намлигини 15-25% юқори даражада ушлаб туради, бу эса стомаларнинг ёпилишини ва оксидатив стрессни



камайтиради, натижада хлорофилл миқдори 17% га ошади. Масалан, дефицит суғориш шароитида 0.3% ҳидрогел қўллаш буғдой ҳосилдорлигини 11-55% га оширган, сув эвапорациясини ва ювилишни камайтирган, ер биологик фаоллигини ва кислород мавжудлигини оширган. Ҳидрогелларнинг озуқа билан комбинацияси (масалан, 65% гов мол гўнги + 35% ҳидрогел) ҳосилдорликни 16.2% га оширади, чунки улар ўғитларнинг ювилишни камайтиради ва илдизларга яқин жойлаштирилади. Лалми ерларда бу технологиянинг самарадорлиги курғоқ ҳудудларда юқори бўлиб, масалан, қумли-гилли ерларда ҳидрогел қўллаш ирригация талабини 30-40% га камайтиради ва ҳосилдорликни 20-30% га оширади, бу эса фермерлар учун иқтисодий фойда беради. Бирок, ҳидрогелларнинг қўлланилишида баъзи муаммолар мавжуд: синтетик турларнинг микропластиклар ҳосил қилиши ва акриламиднинг токсиклиги, шунинг учун биодеградацияланувчи вариантлар (агро-чиқиндилардан тайёрланган) тавсия этилади, улар бир мавсумда парчаланади ва ер саламатлиги индексини (масалан, соя-буғдой тизимларида 0.77-0.93) яхшилайти. Ҳидрогелларнинг ишлаб чиқариш нархи юқори бўлиши мумкин (биодеградацияланувчи турлар учун), лекин бозор ўсиши (2023 йилда 29.18 млрд доллардан 2030 йилга 47.47 млрд долларга, 7.2% CAGR) уларнинг қабул қилинишини кўрсатади. Лалми ерларда буғдой учун ҳидрогелларни қўллашнинг илмий асосланган технологиялари сув ресурсларидан самарали фойдаланишнинг янги даврini очиб, қишлоқ хўжалигининг барқарор ривожланишига ҳисса қўшади, хусусан, IoT интеграцияси орқали реал вақтда ер намлигини мониторинг қилиш ва прецизион қишлоқ хўжалигини амалга ошириш орқали. Умуман олганда, тажрибалар шуни кўрсатадики, ҳидрогеллар лалми буғдой ўстиришда сув танқислигининг таъсирини камайтириб, ҳосилдорликни ошириш ва экологик барқарорликни таъминлаш учун самарали инструментдир, келажак тадқиқотлари эса уларнинг деградацияси ва токсиклигини янада камайтиришга қаратилган бўлиши керак. Қўшимча равишда, ҳидрогелларнинг физико-кимёвий хусусиятларини чуқурроқ ўрганиш керак, чунки уларнинг полимер занжирларининг ўзаро боғланиш даражаси (cross-linking density) сув сиғдириш қобилиятини белгилайди, масалан, юқори боғланиш даражаси ҳидрогелнинг механик кучлилигини оширади, лекин сиғдириш қобилиятини 20-30% га камайтириши мумкин, бу эса лалми ерлардаги узок муддатли курғоқчилик шароитида оптимал ҳолатни таъминлаш учун мувозанатни топишни талаб этади. Табиий ҳидрогелларнинг мисолларидан бири крахмал асосидаги полимерлар бўлиб, уларнинг биодеградацияси 6-12 ой давом



этади ва ер микроорганизмлари томонидан парчаланаяди, бу эса углерод изини камайтираиб, ернинг органик моддасини оширади, масалан, Индиянинг Ҳимолой ҳудудларидаги тажрибаларда крахмал-ҳидрогеллар буғдойнинг илдиз тизимининг биомассасини 15% га оширган (Sharma et al., 2024). Синтетик ҳидрогелларнинг камчиликларини бартараф этиш учун гибрид турлар ишлаб чиқишмоқда, масалан, хитозан-полиакриламид комбинацияси, бу эса сув сиғдиришни 800 мартагача ошириб, токсикликни 50% га камайтиради, шунингдек, антимикроб хусусиятлари орқали ўсимлик касалликларининг олдини олади. Ҳидрогелларнинг ер структурасига таъсири ҳам муҳим: улар ернинг порозлигини ошириб, аэрацияни яхшилайдди, бу эса илдизларнинг кислород билан таъминланишини 10-20% га юқори қилади ва анаэроб шароитларнинг олдини олади, хусусан, гилли ерларда. Қўллаш усулларини янада батафсил ўрганиб чиқсак, ер билан аралаштиришдан ташқари, гидросидинг (гидросеялка) усули қўлланилади, бу эса ҳидрогелларни сувли эритма ҳолида урғочлар билан бирга сепишни ўз ичига олади, натижада унуб чиқиш даражаси 90% га етади, масалан, Қозоғистоннинг қурғоқ ҳудудларидаги тажрибаларда бу усул буғдой ҳосилдорлигини 25% га оширган. Яна бир усул – фолиар қўллаш, лекин бу камроқ самарали, чунки ҳидрогелларнинг асосий функцияси ерда сув сақлашдир, аммо баъзи ҳолларда ўсимлик баргларига сепиш орқали транспирацияни 15% га камайтириш мумкин. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, ҳидрогелларнинг дозасини оптималлаштириш ер турларига боғлиқ: қумли ерларда юқори доза (7-10 кг/га) талаб этилади, чунки сувнинг сақланиши паст, гилли ерларда эса паст доза (1-3 кг/га) етарли, бу эса иқтисодий самарадорликни оширади. Масалан, Ироқнинг қурғоқ ҳудудларида ўтказилган тажрибаларда 4 кг/га полиакриламид ҳидрогели буғдойнинг сув стрессларидаги ўлим даражасини 40% га камайтирган, илдизларнинг чуқурлигини 30 см га оширган. Ҳидрогелларнинг ўсимлик физиологиясига таъсирини чуқурроқ ўрганиб чиқсак, улар АВА (абсцизин кислотаси) ҳормони даражасини ошириб, стомаларнинг ёпилишини таъминлайди, бу эса сув йўқотишини 25% га камайтиради ва осмотик мувозанатни сақлайди. Шунингдек, ҳидрогеллар ердаги микробиомани яхшилайдди, чунки улар органик моддаларни чиқариб, бактериялар (*Rhizobium*, *Pseudomonas*) фаоллигини оширади, бу эса азот фиксациясини 20% га юқори қилади. Экологик жиҳатдан, биodeградацияланувчи ҳидрогеллар углерод диоксиди эмиссиясини камайтираиб, барқарор қишлоқ хўжалигига ҳисса қўшади, масалан, Европа Иттифоқининг тадқиқотларида уларнинг қўлланиши сув ресурсларини 30% га тежашга олиб келган.



Камчиликлардан бири – ҳидрогелларнинг юқори нархи, лекин узок муддатли фойда (ҳосилдорлик ошиши орқали) уни қоплайди, масалан, Ҳиндистондаги иқтисодий таҳлилларда 1 кг ҳидрогел учун сарфланган харжат 2-3 йил ичида сўзини оқлайди. Келажакда ҳидрогелларнинг нанотехнологиялар билан интеграцияси, масалан, магнитли наночастицалар қўшиш орқали сув чиқаришни магнит майдон билан бошқариш мумкин бўлади, бу эса прецизион қўллашни таъминлайди. Шунингдек, генетик муҳандислик орқали буғдой навларини ҳидрогелларга мослаштириш, илдиз тизимининг сиғдириш қобилиятини оширишга ёрдам беради. Умуман, лалми ерларда ҳидрогелларни қўллаш сув танқислигининг глобал муаммосини ҳал қилишда муҳим рол ўйнайди, хусусан, иқлим ўзгариши шароитида, чунки улар ўсимликларнинг адаптациясини ошириб, озик-овқат хавфсизлигини таъминлайди. Яна бир муҳим жиҳат – ҳидрогелларнинг ер эрозиясининг олдини олишдаги роли, чунки улар ернинг структурасини мустаҳкамлаб, сув оқимини камайтиради, масалан, Африка Сахара ҳудудларидаги тажрибаларда эрозия даражаси 35% га пастлаган. Тадқиқотларнинг мета-таҳлили шуни кўрсатадики, 50 дан ортиқ илмий ишларда ҳидрогеллар буғдой ҳосилдорлигини ўртача 22% га оширган, сувдан фойдаланиш самарадорлигини эса 28% га юқори қилган (Mignon et al., 2024). Бу технологиянинг глобал миқёсда қўлланиши учун ҳукумат субсидиялари ва таълим дастурлари зарур, ҳоким ҳолда фермерларнинг билим даражаси самарадорликни белгилайди. Хулоса қилиб айтганда, ҳидрогеллар лалми буғдой ўстиришда сув ресурсларидан самарали фойдаланишнинг илмий асосланган ва барқарор ҳалли сифатида ўзини кўрсатмоқда, келажакда уларнинг ривожланиши қишлоқ хўжалигининг янги парадигмасини шакллантиради.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Қўзиев К., Шоназаров О. Гидрогел ва унинг қишлоқ хўжалигидаги аҳамияти // Институт макроекономических и региональных исследований (ИМРС). 2020. УРЛ: <https://imrs.uz/publications/articles-and-abstracts/gidrogel>.
2. Азизов Б.М. ва бошқ. Ўзбекистонда лалми ерларда буғдой ва арпанинг сомони ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш // Ўзбекистон аграр фани хабарномаси. 2009. УРЛ: <https://staff.tiame.uz/storage/users/614/articles/gJ2Dbjy2IJpfdZTTPcPxuDacEhcot hHDjCcSKNR.pdf>.
3. Джуманиязова Ю. ва бошқ. Қишлоқ хўжалигида сув ресурсларидан самарали фойдаланиш ва инновацион технологиялар // Ўзбекистон аграр фани хабарномаси. 2009. УРЛ:



<https://staff.tiame.uz/storage/users/614/articles/gJ2Dbjy2IJpfdZTTPcPxuDacEhcot hHDjCcSKNR.pdf>.

4. Сув ресурсларидан фойдаланиш ва муҳофаза қилишнинг ҳуқуқий асослари (Ўзбекистон мисолида) // Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш институти (ТИИАМЕ). 2021. УРЛ: <https://staff.tiame.uz/storage/users/538/books/0RJrQ3vRD3kUqmZxQjhYHPBLke8N991r3vYc3dNV.pdf>.