

**СУ, ЖЕР ЖӘНЕ ОРМАН РЕСУРСТАРЫ
ВОДНЫЕ, ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ
WATER, LAND AND FOREST RESOURCES**

ГТАХР 20.53.25

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/36>

Р.Ш. Аманжолова^{1}, И.К. Рахметов², Ж.Ә. Оңласынов³, Д.К. Саданова¹, Ж.М. Сагин¹*

*¹Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,
r.amanzholova@kbtu.kz*, d_sadanova@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz*

*²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы,
Қазақстан, issaraqmet@gmail.com*

*³ У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Алматы,
Қазақстан, zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru*

**ҚАЗАҚСТАНДА СУ РЕСУРСТАРЫН ТҰРАҚТЫ БАСҚАРУ: СУЛЫ
ҚАБАТТАРДЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІ БАСҚАРУ ӘЛЕУЕТІ**

Аңдатпа

Зерттеудің мақсаты: Бұл зерттеу Қазақстандағы су ресурстарын тұрақты басқару үшін басқарылатын жер асты суын толықтыру (Managed Aquifer Recharge, MAR) технологияларын қолданудың мүмкіндігін бағалауға бағытталған.

Зерттеу әдістемесі: Зерттеу кеңістіктік модельдеу, гидрогеологиялық талдау және пилоттық учаскелерде эксперименттік сынақтарды қамтиды. Су айдау жұмыстарына тест жүргізіліп, жер асты суларының мониторингі жүзеге асырылып, сондай-ақ су қоймаларының гидрогеологиялық параметрлері зерттелді. Сүзгілеу қабілеті, өткізгіштік және су қабатының электрөткізгіштігі бағаланып, жер асты суын толықтыру тиімділігі анықталды.

Зерттеу нәтижелері: Зерттеу нәтижелері MAR технологиясының Қазақстандағы су балансының реттелуіне тиімді құрал бола алатынын дәлелдеді. Далалық сынақтар арқылы басқарылатын су қайта зарядтау әдісінің арқасында булану есебінен су шығынын азайтуға, табиғи сүзу арқылы судың сапасын жақсартуға және су тасқыны қаупін төмендетуге ықпал ететінін көрсетті.

Ғылыми жаңалығы: Бұл зерттеу – Қазақстандағы MAR технологиясын “су ресурстарын тұрақты басқару” контекстінде алғашқы кешенді бағалауы болып табылады. Аймақтың климаттық және гидрогеологиялық ерекшеліктерін ескере отырып, жер асты суын толықтыру модельдері әзірленді. Зерттеу MAR технологияларын ұлттық су стратегияларына интеграциялау мүмкіндігін көрсетеді.

Практикалық маңыздылығы: Қазақстанда MAR технологиясын енгізу стратегиялық су қорларын құруға, ауыл шаруашылығының құрғақшылыққа төзімділігін арттыруға және су тасқынынан келетін шығындарды азайтуға көмектеседі. Зерттеу су ресурстарын басқару бойынша мемлекеттік бағдарламаларды дайындау және MAR технологияларын агроөнеркәсіптік секторға енгізу үшін ғылыми негіз береді.

Кілт сөздер: басқарылатын жер асты суын толықтыру, гидрогеология, тұрақты су ресурстары, жерасты сулары, Қазақстан, климаттық бейімделу, су ресурстарын басқару.

Кіріспе

Орталық Азия (ОА) – климаттың өзгеруі мен су ресурстарының тапшылығы салдарынан ең осал аймақтардың бірі. Бұл өңір жауын-шашын режимінің өзгеруі, экстремалды температураның жиілеуі және құрғақшылықтың күшеюі сияқты мәселелермен бетпе-бет келгендіктен, ауыл шаруашылығына, экожүйелерге және азық-түлік қауіпсіздігіне теріс әсер етеді [1].

Қазақстан – аймақтағы ең ірі ел ретінде су ресурстарын басқаруда елеулі қиындықтарға тап болуда. Бұл мәселені маусымдық су теңгерімінің айқын дисбалансы одан әрі күрделендіреді: көктемде қар еріп, тасқын сулар көбейеді, ал жазда су тапшылығы сезіледі [2]. Дәстүрлі түрде Қазақстанда негізінен жер үсті су ресурстарына көп көңіл бөлінеді, ал жер асты суларының тиімділігі жеткілікті деңгейде пайдаланылмай отыр [3].

Тарихи тұрғыдан алғанда, Қазақстан және басқа да аймақ елдері өзен ағынын реттеу, суару және су тасқындарын бақылау үшін су қоймалары мен бөгеттерді кеңінен қолданды. Алайда, қазіргі зерттеулер бұл тәсілдің бірқатар кемшіліктері бар екенін көрсетіп отыр. Басты мәселелердің бірі – жыл сайын су қоймаларындағы тұнбаның жиналуы әсерінен олардың көлемін 1%-ға азайтады [4]. Сонымен қатар, бұл әдістер биоәртүрлілікке теріс әсер етеді ([5]. Сондай-ақ халықты көшіру мен ауыл шаруашылығы жерлерінің жоғалуын қоса алғанда, жоғары әлеуметтік-экономикалық шығындарға әкеледі [6]. Оған қоса, климаттың өзгеруі құрғақшылық пен қатты жауын-шашын ықтималдығын арттырып, суды басқарудың дәстүрлі әдістерінің тиімділігін төмендетеді [7].

Осыған байланысты су ресурстарын басқарудың тұрақты әрі бейімделгіш тәсілдерін іздеу қажеттілігі туындап отыр. Солардың бірі – артық жер үсті суларын жер астына жинақтап, кейін пайдалану үшін сақтауды қарастыратын – басқарылатын жер асты суын толықтыру (Managed Aquifer Recharge, MAR) технологиясы.

Халықаралық тәжірибе MAR жүйелерінің тиімділігін, әсіресе құрғақ климаттық аймақтарда, дәлелдеп отыр. Мысалы, Австралиядағы Литл-Пара және Локьер аңғарларындағы MAR жүйелері жылына 8,9 млн м³ су қорын толықтырып, 67%-ға дейін тиімділік көрсетеді [8]. Сонымен қатар, MAR ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Еуропада MAR технологиясына ерекше көңіл бөлетін елдердің бірі – Испания, сондай-ақ салыстырмалы түрде Израильде де кеңінен қолданылуда. Израильде ағынды сулардың шамамен 90%-ы қайта өңделіп, негізінен ауыл шаруашылығы қажеттіліктеріне жұмсалады. Бұл өз кезегінде тұщы суға тәуелділікті айтарлықтай азайтып, су жабдықтау шығындарын төмендетеді [9]. Испанияда инфильтрациялық бассейндер мен жер асты су көздерін толықтыру тәжірибесі MAR-дың суармалы ауыл шаруашылығының экономикалық тұрақтылығына тікелей ықпал ететінін және құрғақшылық салдарын алдын алуға көмектесетінін көрсетті [10].

АҚШ-та MAR жүйелері үкімет тарапынан субсидиялар мен арнайы бағдарламалар арқылы қолдау табууда. Бұл әсіресе Калифорнияда айқын байқалады, онда Flood-MAR жобалары артық жер үсті суларын тасқын кезеңінде жинап, оларды кейіннен жер асты қабаттарында сақтауға бағытталған. Мұндай жобалар су тасқыны қаупін азайтып қана қоймай, ауыл шаруашылығы үшін тұрақты су қорын қамтамасыз. Және де қымбат жер үсті су қоймаларын салу шығындарын азайту арқылы ұзақ мерзімді экономикалық пайда әкеледі [11].

Осылайша, халықаралық тәжірибе MAR жүйелерінің экономикалық тұрғыдан тиімді, ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға және су ресурстарын тұрақты басқаруға ықпал ететінін растайды. Сонымен, бұл MAR технологиясын Қазақстан сияқты құрғақ және жартылай құрғақ аймақтар үшін таптырмас шешімге айналдырады.

Қазақстан үшін MAR жүйесі су тасқыны қаупін азайтуға, стратегиялық су қорларын жинауға және жер асты қабаттарында табиғи сүзу арқылы су сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Жамбыл облысында жүргізілген зерттеулер топырақ-гидрогеологиялық жағдайларды талдау негізінде MAR жүйесін енгізудің жоғары деңгейін растады [2].

Климаттық өзгерістердің күшеюі және су ресурстарына сұраныстың артуы жағдайында MAR технологиясы ауыл шаруашылығын тұрақты сумен қамтамасыз етуге, булану кезіндегі су шығындарын азайтуға және экологиялық тәуелділікті төмендетуге ықпал ете алады. Қазақстанда MAR жүйесін енгізу аграрлық сектордың тұрақты дамуына, сонымен қатар елді азық-түлікпен қамтамасыз етуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Зерттеудің негізгі мақсаты – Қазақстанда MAR технологияларын қолдану мүмкіндігін бағалау және де тұрақты су ресурстарын басқару шешімі ретінде қарастыру. Зерттеу MAR-

дың халықаралық тәжірибесі мен қатар кеңістіктік модельдеу әдістерін біріктіруге бағытталған. Бұл технология тасқын кезінде артық жер үсті суларын жинап, оларды ауыл шаруашылығында пайдалану үшін жер астында сақтау мүмкін болатын аймақтарды анықтауға көмектеседі. Жалпы мақсат – MAR жүйесін Қазақстанның ұлттық су стратегияларына интеграциялауды ғылыми негіздеу және MAR-ды ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаның ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ететін перспективалы құрал ретінде таныту.

Әдістер мен материалдар

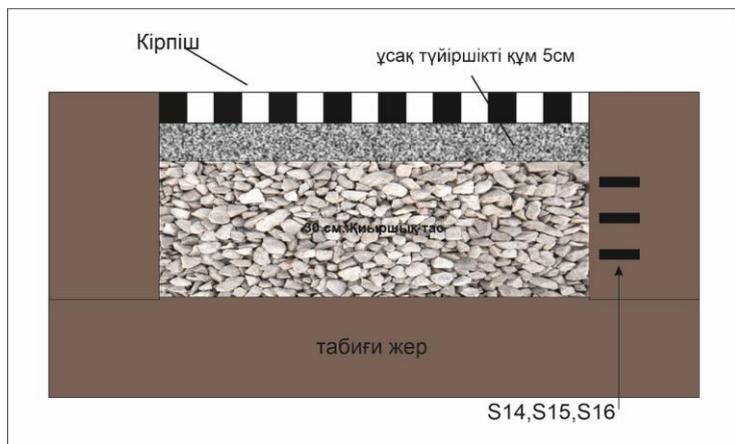
TERESA Қалалық Су Ресурстарын Басқару: Қазақстан Қалалары үшін Германия Тәжірибе жобасы – Германияның Білім және Ғылым Федералды Министрлігі (BMBF) қолдауымен жүзеге асырылып жатқан Қазақстан мен Германия арасындағы бірлескен бастама. Жоба қалалық су ресурстарын басқаруды дамыту үшін Германия тәжірибесін қолдануға бағытталған.

Қазақстан қалалары мен ауыл - аймақтары су тасқыны және ауыз су тапшылығы сияқты мәселелерге тап болуда. Бұл мәселелерді шешу үшін интеграцияланған су ресурстарын басқару (IWRM) тәсілі қажет. Яғни, осы тәсіл жер үсті суларының (жаңбыр суларын ағызу, су тасқынын азайту) және жер асты суларының (су деңгейін толықтыру және тұрақты пайдалану) үйлестірілген басқаруын қамтиды (Zare & Kalantari, 2018).

Сынақ алаңы және әдістер. Белгіленген сынақ алаңы Назарбаев Университетінің солтүстік бөлігінде орналасқан (51.095286 N, 71.400261 E, WGS 84 / UTM ZONE 42N) (1-сурет). Алаң - су ресурстарын тұрақты басқару жүйелерін (SUDS) және жер асты су қорларын толықтыру (MAR) әдістерін, суық және құрғақ климаттық жағдайларда бағалау үшін далалық зертхана қызметін атқарды. Жаңбыр суларының инфильтрациясын талдау және жер асты суларын тиімді пайдалану бойынша эксперименттер жүргізілді [12].

Негізгі сынақ алаңының құрамдас бөліктері:

1. Су өткізгіш және өткізбейтін беттер: инфильтрация өзгерістерін зерттеу (1, 2-суреттер).



Сурет 1. Су өткізгіш беттер (автор өзгертті) [13]

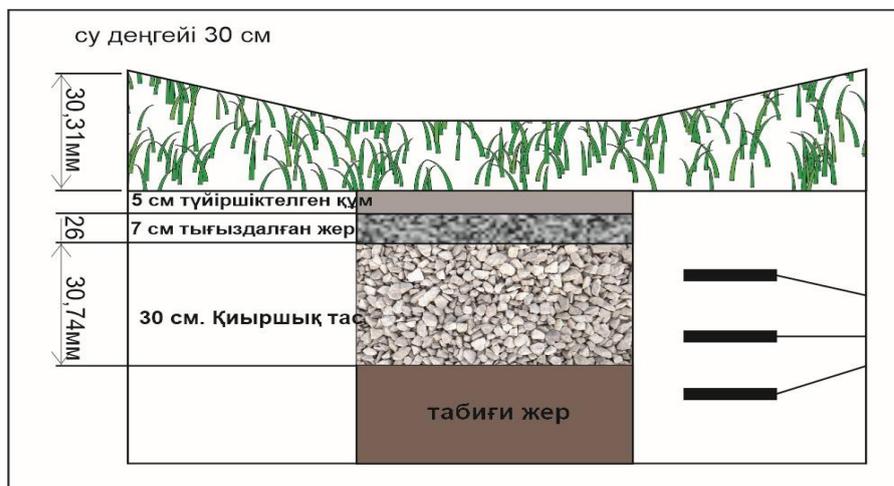


Сурет 2. Су өткізбейтін беттер (автор өзгертті) [13]

2. Метеостанция: Нақты уақыттағы метеорологиялық деректерді жинайды: температура, жел жылдамдығы, радиация, жауын-шашын және ылғалдылық

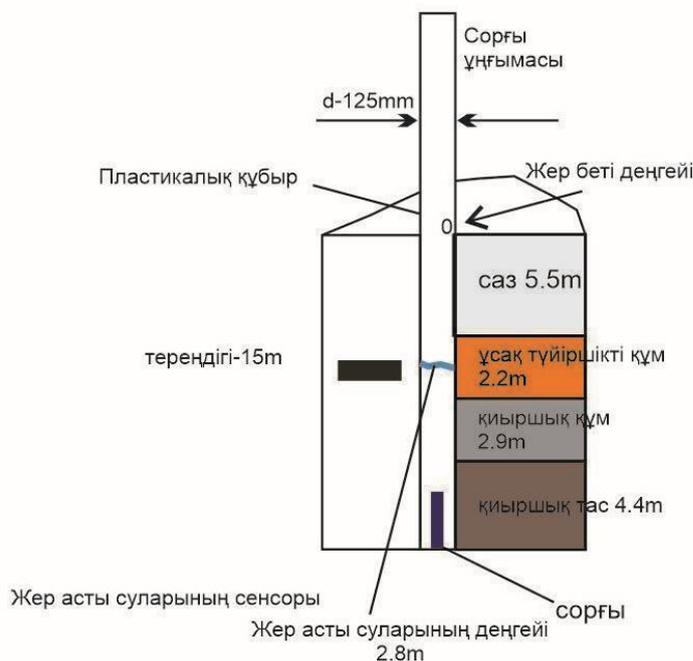
3. Топырақ ылғалдылық сенсорлары: 12 сенсордан тұратын жүйе топырақтың ылғалдылығы мен температура өзгерістерін бақылайды.

4. Жауын-шашын дренаж жүйесі (SUDS): Жауын-шашын суларын тиімді жинау мен басқару үшін жасалған (3-сурет).



Сурет 3. Жауын-шашын дренаж жүйесі(автор өзгертті) [13]

5. Екі жер асты суын бақылау ұңғымасы: Жер асты суының деңгейін, температурасын және электр өткізгіштігін бақылайды (4-сурет).



Сурет 4. Жер асты суын бақылау ұңғымалары(автор өзгертті) [13]

6. Жер асты суларының ағымы мен деректерді бақылау жүйесі

Жер асты суының ағымы Есіл өзеніне бағытталған. Әрбір бақылау ұңғымасы жер асты суының деңгейін өлшеу, су үлгілерін алу және температура мен электр өткізгіштікті тіркеу үшін сенсорлармен жабдықталған. Метеорологиялық деректер сағат сайын орталықтандырылған деректер жинау жүйесінде тіркеледі.

Нәтижелер мен пікірталас

Ұңғыманы сорғылау – жер асты суларының динамикасын зерттеу әдісі:

Гидравликалық өткізгіштік (K): Су топырақ арқылы қаншалықты оңай өтетінін көрсетеді. Яғни, су ағынын және ұңғыма жұмысының тиімділігін түсінуге көмектеседі.

Трансмиссивтік (T): Бүкіл су қабаты арқылы қанша су өтетінін өлшейді, бұл ұңғыманың өнімділігін және су жүйелерін жоспарлау үшін пайдалы.

Су деңгейінің төмендеуі (Drawdown): Сорғылау кезінде су деңгейінің қаншалықты төмендегенін бақылайды, сонымен қатар бұл ұңғыманың әсері мен өнімділігін бағалау үшін қажет.

Әсер радиусы (R): Ұңғыманың сорғылау әсері таралатын аймақты анықтайды. Ұңғымаларды қандай қашықтықта орналастыру керектігін шешуге көмектеседі.

Қайта толу жылдамдығы (Recharge Rate): су қабатының немесе су қоймасының қаншалықты тез толатынын көрсететін көрсеткіш.

Ұңғымалар туралы жалпы ақпарат

Орналасқан жері: Қазақстан, Астана, Қабанбай Батыр көшесі, 53.

Тәжірибенің мақсаты: Су қабатының гидрологиялық сипаттамалары анықтау және ұңғыма өнімділігін сынау.

Ұңғымалар түрлері:

- сорғылау ұңғымасы (фильтрі бар, тереңдігі 9–12 м);
- бақылау ұңғымасы (ұқсас құрылымда, бақылау үшін қолданылады).

Ұңғыма сипаттамалары:

Бұрғылау диаметрі: 125 мм.

Сорғылау жылдамдығы (Q): $3 \text{ м}^3/\text{сағ} = 8.33 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Ұңғымалар арасындағы қашықтық (L): 6 м.

Ұңғыма тереңдігі (b): 15 м.

Ұңғыма диаметрі (d): 125 мм = 0.125 м.

Гидравликалық жүктеме (h): 2.8 м.

Көлденең қиманың ауданы ұңғыманың диаметріне негізделген:

$$A = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (1)$$

Орнына қоямыз:

$$A = \pi \times \left(\frac{0.125}{2}\right)^2 = \pi \times (0.0625)^2 = 0.01227 \text{ м}^2$$

Гидравликалық өткізгіштікті (K) есептеу Дарси заңы бойынша:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times h} \quad (2)$$

Орнына қоямыз:

$$K = \frac{(8.33 \times 10^{-4}) \times 6}{0.01227 \times 2.8} = 0.1455 \text{ м/с}$$

Трансмиссивтілікті (T) есептеу

Трансмиссивтілік формуласы:

$$T = K \times b \quad (3)$$

Мәндерді орнына қоямыз:

$$T = 0.1455 \times 15 = 2.1825 \text{ м}^2/\text{с}$$

Гидравликалық өткізгіштік және трансмиссивтік

- Гидравликалық өткізгіштік (K) = 0.1455 м/с
- Трансмиссивтік (T) = 2.1825 м²/с

Нәтижелер гидравликалық өткізгіштіктің K = 0.1455 м/с екенін көрсетеді:

Осы материал (бұл жағдайда су қабаты) арқылы судың қаншалықты оңай өтетінін өлшейді. 0.1455 м/с мәні судың қалыпты жылдамдықпен қозғалатынын білдіреді. Сонымен қатар материалдың орташа өткізгіштікке ие екенін және су қалыпты жылдамдықпен өте алатынын көрсетеді.

Трансмиссивтік (T) = 2.1825 м²/с:

Трансмиссивтік су қабатының толық қалыңдығы арқылы қанша су өте алатынын көрсетеді. 2.1825 м²/с мәні су қабатының едәуір мөлшерде суды өткізе алатынын білдіреді, ұңғыманың жұмыс істеуі, суару немесе сумен жабдықтау үшін қолайлы екенін ұсынады.

Гидравликалық өткізгіштік (K) = 0.1455 м/с және трансмиссивтік (T) = 2.1825 м²/с бірге аймақтағы су қабатының орташа өткізгіштікке және жақсы су өткізгіштік қабілетіне ие екенін көрсетеді. 1-кестеде шығыс және батыс ұңғымалардың геологиялық қимасы берілген.

Кесте 1 - Шығыс және батыс ұңғымалардың геологиялық қимасы

| № | Кен орнының атауы | Кездесу аралығы (м) | Тереңдігі (м) |
|---|---|---------------------|---------------|
| 1 | Қоңыр, тығыз саздақ | 0.0 - 5.5 | 5.5 |
| 2 | Ұсақ түйіршікті аллювий | 5.5 - 7.7 | 2.2 |
| 3 | Ірі түйіршікті аллювий қиыршықтас қосындысымен, шайылу | 7.7 - 10.6 | 2.9 |
| 4 | Фаменский – Турнейский жыныс, су өткізгіш | 10.6 - 15.0 | 4.4 |

Топырақ қабаттарының толық сипаттамасы:

1. Саздақ (0-5 м): Құм мен саздың қоспасы, төмен су өткізгіштікке ие, су ұстап тұратын қабат қызметін атқарады. Сонымен қатар, химиялық заттар мен басқа да ластаушылардың терең су қабаттарына өтуінен қорғайды.

2. Ұсақ түйіршікті аллювий (5-8 м): Құм мен лайдың қоспасы, орташа су өткізгіштікке ие, инфильтрация жылдамдығы шектеулі. Су қабатын баяу толықтыруды қамтамасыз етеді.

3. Ірі түйіршікті аллювий (8-11 м): Құм, қиыршық тас және ірі бөлшектердің қоспасы, жоғары кеуектілікке ие. Ұсақ шөгінділерден суды табиғи тазартуды қамтамасыз етеді, жоғары су өткізгіштікке ие.

4. Фамен горизонты (11-15 м): Карбонатты жыныстардың (әктас) қоспасы, көбінесе жарықтар мен карст қуыстарымен сипатталады. Тереңдікте судың еркін қозғалуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар артезиандық ұңғымалар үшін өте қолайлы. Мұндай беткі қабат ластанудан қорғалған, бірақ жарықтар арқылы химиялық ластаушылар енуі мүмкін.

Топырақ құрылымы табиғи сүзу жүйесін қамтамасыз етеді және су қабаттарын қорғауға ықпал етеді. Жоғарғы қабаттар ластанудан қорғайды, ал төменгі қабаттар негізгі су көзі ретінде қызмет етеді.

2023 жылғы шілде айында тестілік алаңда 2 тәжірибе жүргізілді.

Тәжірибе №1

- Ұзақтығы: 1 сағат.

- Жүргізілген ұңғыма: №1 (5 - сурет).

- Мақсаты: Сорғылау кезінде ұңғымадағы жер асты суларының деңгейінің төмендеуін бақылау. Сонымен қоса, сорғылау көлемі мен жер асты сулары деңгейінің өзгерістері арасындағы байланысты талдау. Тәжірибе тоқтатылғаннан кейін жер асты су деңгейінің қалпына келуін бағалау.

Сорғылау процесі:

1. Ұңғымаға сорғы орнатылып, 1 сағаттан екі рет жұмыс істеді (арасында 40 минут үзіліс жасалып отырды) (5-сурет).

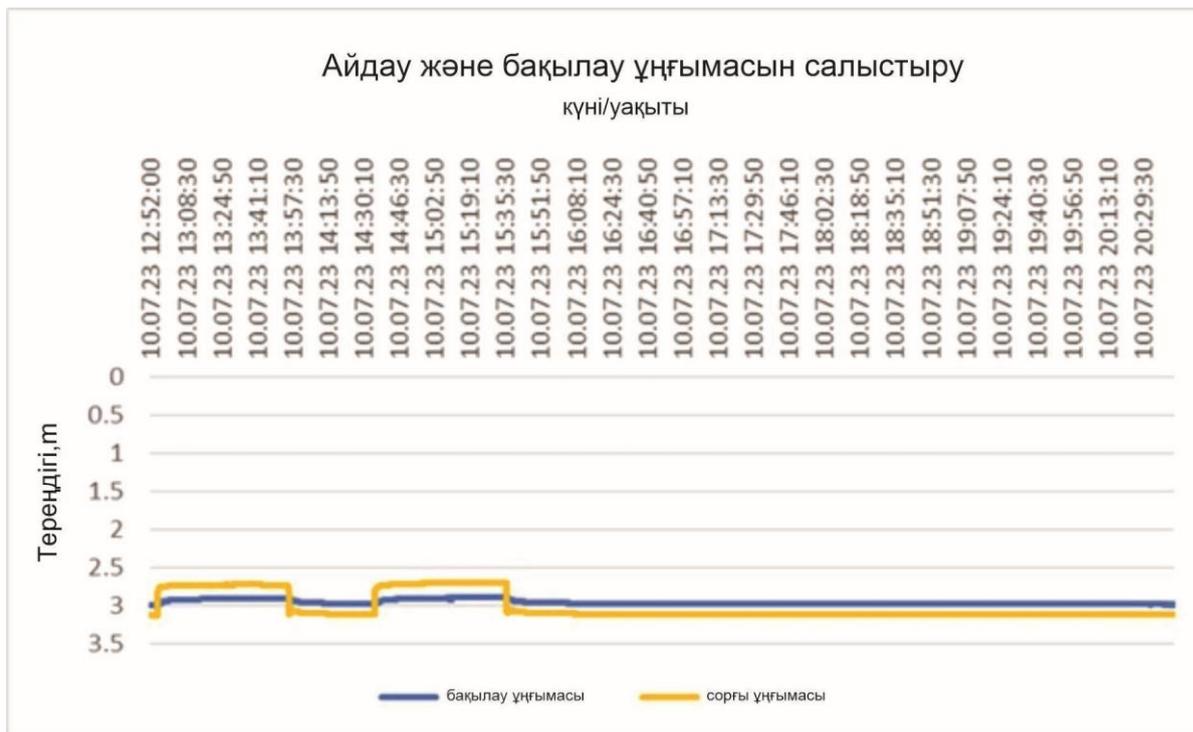
2. Сорғылау кезінде жер асты суларының деңгейі белгіленген уақытта бақыланды.

3. Су деңгейлері жазылып, алынған мәліметтер сорғылау кезінде шығарылған су көлемі мен жер асты сулары деңгейінің төмендеуі есептелді.

Тәжірибе сорғылау уақыты мен жер асты сулары деңгейінің төмендеуі арасындағы байланысты көрсетті. Сондай-ақ, сорғылау тоқтатылғаннан кейін су деңгейінің қалпына келуі

бақыланды. Мониторингтік және сорғылау ұңғымалары арасындағы салыстыру график түрінде көрсетілген (5-сурет).

Бірінші тәжірибе сағат 12:30-да басталып, 15:40-қа дейін жалғасты. Сорғылау 40 минутқа тоқтатылды.



Сурет 5. 1 сағаттық сынақ кезінде сорғылау және мониторингтік ұңғымалардағы электр өткізгіштіктің корреляциясы

Графикті талдау нәтижесінде су деңгейі біртіндеп төмендеп, бастапқы деңгейден 4-5 см төмен болғаны байқалды. Сорғылау тоқтатылғаннан кейін су деңгейі баяу қалпына келді. Ал су қабатының толық қалпына келуі көбірек уақытты талап етті. Графикке сәйкес, 1-мониторингтік ұңғымадағы су деңгейі (көк сызық) 2-сорғылау ұңғымасының деңгейіне (сарғыш сызық) параллель өзгереді. Бұл динамика, сорғылау кезінде су деңгейінің аздап төмендегенін көрсетеді. Сонымен бірге, сорғылаудың ұңғыма маңындағы аймаққа әсерін тигізетінін дәлелдейді.

Енді жер асты суларының деңгейінің су өткізгіштікке әсерін салыстырайық. Сарғыш сызық сорғылау ұңғымасының жер асты су деңгейін, ал көк қисық мониторингтік ұңғыманың өткізгіштігін көрсетеді. Графиктен сорғылау деңгейіне байланысты электр өткізгіштігінің қалай өзгеретінін көруге болады.

6-суретте су сорғылау кезінде ұңғымалардағы жер асты суларының деңгейі мен электр өткізгіштігінің (су өткізгіштігінің) тәуелділігі көрсетілген.

Электр өткізгіштік – электр тогын өткізу қабілеті. Бұл көрсеткіш температураға, еріген тұздар мен хлоридтер және де фосфаттар мөлшеріне байланысты. Нитраттар электр өткізгіштігін арттырады. Электр өткізгіштік судың сапасын сипаттайды, ал оның айтарлықтай өзгерістері ластану көздерінің болуымен байланысты.

Графикте ұңғымадағы судың өткізгіштігі (сорғылау ұңғымасы – жасыл түс, мониторингтік ұңғыма – сұр түс) көрсетілген. Бұл көрсеткіштер сорғылау кезінде су құрамының өзгеруін анықтауға мүмкіндік береді. Әдетте, егер таза су қабаттары алынып тасталса немесе әртүрлі минералды құрамы бар сулар араласса, өткізгіштік артады.

Осылайша, судың электр өткізгіштігі графикте су сапасының сорғылау кезінде қалай өзгеретінін көрсетіп, әртүрлі су өткізгіш қабаттардың өзара әрекеттесуін және ықтимал ластану көздерін анықтауға көмектеседі.



Сурет 6. Жер асты суларының деңгейі мен электр өткізгіштігінің өзара байланысы

Сорғылау қарқындылығы артқанда, электр өткізгіштік төмендейді, ал сорғылау тоқтағанда, керісінше, артады. Осылайша, судың деңгейі қалпына келген кезде ластану деңгейінің төмендейтінін көрсетеді.

3 сағаттық эксперимент сипаттамасы

Тәжірибе №2

- Ұзақтығы: 3 сағат.

Тәжірибеге екі ұңғыма қарастырылды: сорғылау ұңғымасы (күлгін сызық) және мониторингтік ұңғыма (көк сызық).

Сорғылау сынағы барысында бұл ыдыс әдетте сорғылау көлемін өлшеу немесе белгілі бір уақыт аралығында аквиферден немесе ұңғымадан алынған суды жинау үшін қолданылады.

Сынақ уақыты: 12:50 – 15:40 (3 сағат).

Бұл эксперимент гидравликалық өткізгіштік (К) және өткізгіштік (Т) көрсеткіштерін бағалауға негізделген.

Сондай-ақ, ұңғыманың жұмыс тиімділігі мен уақыт өте келе жер асты суларының сорғылауға қалай әрекет ететінін анықтауға мүмкіндік береді.

Судың деңгейі әрбір тұрақты аралықта жазылып отырды, осылайша екі ұңғымадағы өзгерістер бақыланды.

Сорғылау жылдамдығы тұрақты (3 м³/сағ) сақталды, бұл деректердің дәлдігін қамтамасыз етті.

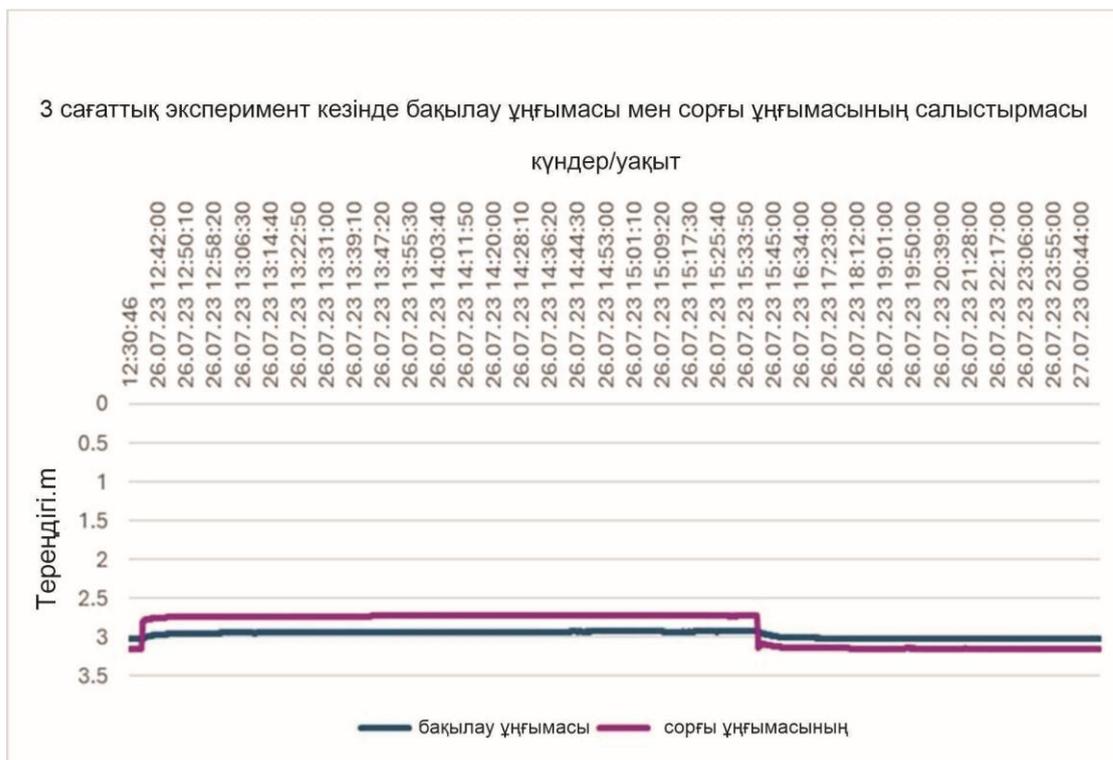
Осы эксперименттің нәтижелері жер асты су жүйесінің сорғылау жағдайында қалай әрекет ететінін жақсырақ түсінуге маңызды ақпарат береді.

7 - суретте 3 сағаттық кезең ішінде сорғылау және мониторингтік ұңғымалардағы жер асты суының деңгейінің төмендеуі көрсетілген. Графикте су деңгейінің тереңдігі (метрмен) мен уақыт арасындағы байланыс бейнеленген. Сорғылау ұңғымасындағы су деңгейі тез төмендейді. 3 сағат ішінде ұңғымада тұрақты су деңгейі қалыптасады. Мониторингтік ұңғымадағы су деңгейі сорғылау ұңғымасына параллель өзгеріп отырады. Екінші тәжірибе бірінші тәжірибедегідей сорғылау аймағына әсерін көрсетті.

1 және 3 сағаттық сорғылау нәтижелерін салыстырғанда, ұзақ сорғылау кезінде ұңғымадағы су деңгейі бастапқы қалпына қайта келгені байқалды. Тәжірибе сорғысы ұзақ уақыт жұмыс істегенде, жер асты суларының деңгейі тұрақтанады.

Енді электр өткізгіштік (ЕС) пен ұңғымалардағы су деңгейінің өзгерісі арасындағы байланысты қарастырайық.

Электр өткізгіштік судың құрамымен сипатталады: суда иондар мен тұздардың қоспаларының болуы ЕС көрсеткішіне әсер етеді.



Сурет 7. Сорғылау ұңғымасының 3 сағаттық екінші сынағы

8-суреттегі графикке сәйкес, сорғылау кезінде электр өткізгіштік күрт өзгеріп, 30 минуттан кейін артты. Өзгерістің себебі – минералдану деңгейі әртүрлі су ағынына байланысты. Сорғылау деңгейіне байланысты электр өткізгіштіктің қалай өзгертетінін байқауға болады. Мониторингтік және сорғылау ұңғымаларындағы электр өткізгіштік мәндерін салыстырғанда, олардың өзара байланысы жоқ екені көрінеді. Яғни, айырмашылық су құрамының әртүрлі болуымен түсіндіріледі, себебі химиялық құрамы тек сорғылау ұңғымасының айналасында өзгереді.



Сурет 8. 3 сағаттық сынақ кезінде сорғылау және мониторингтік ұңғымалардағы электр өткізгіштіктің корреляциясы

Жүргізілген сорғылау сынақтары жер асты суларының динамика деңгейі мен олардың электр өткізгіштігі туралы маңызды мәліметтер берді. Сорғылау басталған кездегі электр өткізгіштіктің өзгеруі әртүрлі қабаттардағы судың араласуынан туындайды: ұңғымадағы су деңгейі төмендейді, бұл әртүрлі горизонттардан су қозғалысын тудырады. Әрбір горизонттағы тұздар мен иондардың концентрациясы әртүрлі болуы мүмкін. Бұл электр өткізгіштіктің (ЕС) өзгеруіне әкеліп соғады.

Осындай өзгерістер уақытша сипатқа ие болады. Демек, су ағыны тұрақтанғаннан кейін біраз уақыттан соң электр өткізгіштік те тұрақтанады.

Зерттеу барысында су алу процесі мен екі сорғылау тәжірибесі кезіндегі жер асты суларының деңгейінің төмендеуі бақыланды. Бағалау екі негізгі аспектіні қамтыды. Біріншіден, 1 сағаттық және 3 сағаттық айдау аралығында жер асты суларының деңгейлеріне салыстырмалы статистикалық талдау жүргізіліп, тұрақты ағын мен су деңгейінің төмендеуіне негізделген. Екіншіден, тәжірибелер нәтижесінде алынған гидравликалық өткізгіштік мәндері статистикалық тұрғыдан талданды. Тәжірибие арқылы ұңғымалардан алынған су, жер үсті және жер асты суларының өзара әрекеттесуін түсінуге мүмкіндік берді. Бастапқыда ұңғымалардағы су деңгейі тұрақты болғандықтан, бұл су қабатының табиғи жағдайын көрсетті. Бірақ та, су айдау басталған кезде су деңгейі күрт төмендеді. Су айдау ұңғымасына параллель орналасқан бақылау ұңғымасында да су деңгейінің төмендеуі байқалды. Бұл жер асты суларының жоғары қысым аймағынан төмен қысым аймағына қарай жылжығанын көрсетті.

Су деңгейінің қалпына келуіне 30-40 минут қажет болды. Бірақ та ол бастапқы мәніне қайта келген жоқ. Бірінші тәжірибеде су деңгейі 2.702 м-ге, ал екінші тәжірибеде 2.721 м-ге төмендеді. 97%-дық шөгінді деңгейі су қабатының шектеулі қорларға немесе баяу толықтырылу жылдамдығына ие екенін көрсетеді.

Су қабатының гидравликалық өткізгіштігі 0,1455 м/с деп есептелді. Осылайша бұл орташа өткізгіштік пен қорларды толықтыру қабілетінің шектеулі екенін көрсетеді. Екі тәжірибеде де су деңгейінің толық қалпына келмеуі байқалды. Су айдауын тоқтатқаннан кейін 40 минут өткен соң, бірінші тәжірибеде су деңгейі бастапқы деңгейден 11 см төмен, ал екінші тәжірибеде 18 см төмен қалды. Қалпына келу жылдамдығының баяулығы топырақтың төмен өткізгіштігін немесе табиғи қорлардың жеткіліксіз толықтырылуын көрсетеді. Демек, бұл су өткізбейтін қабаттардың болуынан немесе жауын-шашын мөлшерінің аздығына байланысты болуы мүмкін.

Электр өткізгіштік өлшемдер су айдау процесі кезінде судың химиялық құрамының өзгеруін бақылауға және жер үсті мен жер асты суларының өзара әрекеттесуін бағалауға мүмкіндік берді.

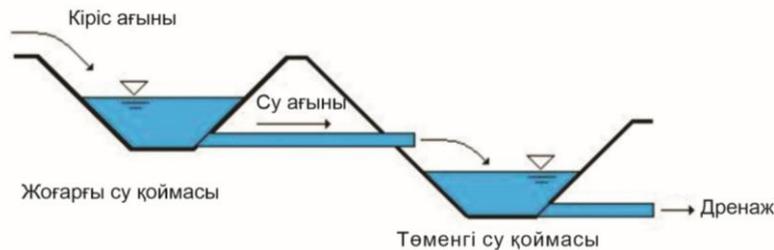
Эксперименттер кезінде байқалған су деңгейінің баяу қалпына келуі мен айтарлықтай төмендеуі, жер асты су қабатының өзін-өзі тиімді толықтыру қабілетінің осал екенін көрсетті.

Болашақ зерттеулер. Алматы облысы, Талғар ауданы, Қайнар ауылдық округі, Жалқамыс ауылында Сұлтанбекова шаруашылығы жұмыс істейді. Шаруашылықтың жетекшісі – Баян Сұлтанбекова. Аталған шаруашылық су ресурстарын басқаруға бағытталған табиғи бастамаларға белсенді қатысады. Оның ішінде, еріген қар және жаңбыр суларын жинау мақсатында жинақтаушы тоғандар салу жұмыстары жүргізілуде. Бұл шаралар жер үсті су көздеріне түсетін жүктемені азайтуға, көктемгі су тасқыны қаупін төмендетуге және жайылымдар мен ауыл шаруашылығы алқаптарын суарумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Шаруашылықтың базасында «Жері байдың – елі бай» қоғамдық бірлестігі тіркелген, оның қарамағында 3000 гектар жайылымдық жер бар. Табиғи су жинау және оны тиімді бөлу әдістерін қолдану өңірдегі ауыл шаруашылығының климаттық өзгерістер мен су тапшылығына бейімделуіне айтарлықтай ықпал етеді.

Болашақ зерттеу барысында осы фермада ғылыми әдістемені сынақтан өткізу жоспарлануда. Қазақстанда MAR (Managed Aquifer Recharge – басқарылатын жер асты су қорларын толықтыру) технологияларын кеңейту мақсатында екі сатылы тоған жүйесін

пилоттық түрде енгізу мүмкіндігі қарастырылады. Бұл жүйе жер үсті суларын тиімді жинап, оларды біртіндеп топыраққа сіңіру арқылы жерасты су қоймаларын толықтыруға мүмкіндік береді(сурет 9).



Сурет 9. Екі сатылы тоған жүйесі (автор өзгертті) [14]

Зерттеу барысында MAR әдістерін далалық мәліметтер мен цифрлық жер бедері модельдерімен (ЦЖМ) біріктіре отырып, суды тиімді жинау және сақтау, су тасқыны қаупін төмендету және климаттық өзгерістерге тұрақтылықты арттыру мүмкіндіктері қарастырылады. Жоба Қазақстанның қуаң аймақтарында су ресурстарын тұрақты басқаруға арналған практикалық шешімдерді әзірлеуге бағытталған. Өйткені маусымдық су қорының қолжетімділігі және климаттық тұрақсыздық аймақ үшін үлкен сын-қатерлер тудырады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері өзгермелі климат жағдайында су ресурстарын басқарудың тұрақты шешімдерін іздеудің маңыздылығын растайды. Орталық Азия, әсіресе Қазақстан, су тапшылығы, су ресурстарының маусымдық теңгерімсіздігі және су ағынын реттеудің дәстүрлі әдістерінің тиімділігінің төмендеуі сияқты күрделі мәселелермен бетпе-бет келуде. Осы тұрғыда басқарылатын жер асты суын толықтыру технологиясы (MAR) су қауіпсіздігін арттырудың, су шығындарын азайтудың және су тасқыны қаупін төмендетудің перспективалық құралы ретінде қарастырылады.

Зерттеу аясында жүргізілген далалық тәжірибелер жер асты су қабаттарының орташа өткізгіштікке ие екенін және табиғи қорларды өздігінен толықтыру қабілетінің шектеулі екенін көрсетті. Жер асты суларының деңгейінің баяу қалпына келуі топырақтың су өткізгіштігін жақсарту және жер асты суларын ұтымды пайдалану стратегияларын әзірлеу қажеттілігін дәлелдеді.

Қазақстанда MAR технологиясын енгізу үшін гидрогеологиялық және климаттық факторларды ескеретін кеңістіктік модельдерді дамытуға бағытталған қосымша зерттеулер қажет. Халықаралық тәжірибе бұл технологияның, әсіресе құрғақ аймақтарда, жоғары тиімділігін көрсетіп отыр. Қазақстанда MAR жүйесін су шаруашылығы саясатына табысты интеграциялау үшін ғылыми сараптама, су ресурстарын бақылау мен қатар жер асты су қорларын басқару тетіктерін әзірлеуді қамтитын кешенді тәсіл қажет.

Осылайша, зерттеу MAR сияқты су үнемдеудің инновациялық әдістерін енгізудің маңыздылығын көрсетеді. Бұл әдістер ауыл шаруашылығының тұрақты дамуы мен климаттың өзгеруі жағдайында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

Алғыс айту. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің тарапынан қаржыландыруда BR27197639 "Жамбыл, Алматы, Жетісу, Абай және Шығыс Қазақстан облыстары үшін сулы горизонттарды басқарылатын толықтырудың гидрогеологиялық стратегияларымен су тасқыны-құрғақшылық салдарын төмендету инновациялары" жобасын жүзеге асыру аясында орындалды.

Әдебиеттер тізімі

1. Wu X., Shen Y. Climate change impacts on Central Asia's water resources and adaptation strategies // *Climate*. – 2021. – Vol. 9, No. 3. – Article 45. – DOI: <https://doi.org/10.3390/cli9030045>.
2. Sallwey J., Stefan C., Hammes V. Managed Aquifer Recharge in Central Asia: Potentials and Constraints // *Journal of Water Resources Management*. – 2024.

3. Makyzhanova A., Beketov M., Nurzhanov A. Assessment of Groundwater Utilization in Kazakhstan // *Water and Environment Journal*. – 2023. – Vol. 37, No. 2. – P. 134–142.
4. Schleiss A.J., De Cesare G., Hermann F. Sedimentation Problems in Reservoirs and Sustainable Solutions // *International Journal of Sediment Research*. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 262–272.
5. Zhao Q., Liu S., Deng L. Impact of Reservoir Construction on Biodiversity and Ecosystem Services // *Ecological Engineering*. – 2019. – Vol. 132. – P. 98–106.
6. Akhmetshin E.M., Kovalenko E.V. Socio-economic Consequences of Water Infrastructure Development in Kazakhstan // *Economics and Society*. – 2019. – No. 4(52). – P. 74–85.
7. Zare F., Kalantari Z. Climate Change and Water Management: The Need for Adaptive Systems // *Environmental Management and Sustainable Development*. – 2018. – Vol. 7, No. 1. – P. 55–71.
8. Sallwey J., Stefan C., Tannert A. Efficiency of MAR Systems in Arid Regions: Case Studies from Australia // *Water*. – 2019. – Vol. 11, No. 6. – P. 1189.
9. Adar E.M., Nejidat A., Yakirevich A. Wastewater Reuse and MAR in Israel: An Integrated Approach // *Water Science and Technology*. – 2012. – Vol. 66, No. 10. – P. 2125–2132.
10. Sprenger C., Grützmacher G., Greskowiak J. MAR Practices in Spain: An Overview of Applications and Performance // *Hydrogeology Journal*. – 2017. – Vol. 25, No. 4. – P. 1105–1118.
11. California Department of Water Resources. Flood-MAR: Using Flood Water for Managed Aquifer Recharge to Support Sustainable Water Resources. – Sacramento, CA: CDWR, 2018.
12. Dillon P., Pavelic P., Page D., Beringen H., Ward J. Managed Aquifer Recharge: An Introduction. – Paris: UNESCO & CSIRO Publishing, 2019.
13. Amanzholova R., Sarsekova D., Stefan C., Sagin J., King R., Timur E. TVET IT technologies support for the water resources, agro forest shelterbelts sustainability // 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Astana, Kazakhstan, 2024. – P. 239–244. – DOI: 10.1109/SIST61555.2024.10629634.
14. Hydrology Studio. Routing Through Detention Ponds. – URL: <https://learn.hydrologystudio.com/hydrology-studio/knowledge-base/routing-through-detention-ponds> (дата обращения: [01.04.2025]).

References

1. Wu X., Shen Y. Climate change impacts on Central Asia's water resources and adaptation strategies // *Climate*. – 2021. – Vol. 9, No. 3. – Article 45. – DOI: <https://doi.org/10.3390/cli9030045>.
2. Sallwey J., Stefan C., Hammes V. Managed Aquifer Recharge in Central Asia: Potentials and Constraints // *Journal of Water Resources Management*. – 2024.
3. Makyzhanova A., Beketov M., Nurzhanov A. Assessment of Groundwater Utilization in Kazakhstan // *Water and Environment Journal*. – 2023. – Vol. 37, No. 2. – P. 134–142.
4. Schleiss A.J., De Cesare G., Hermann F. Sedimentation Problems in Reservoirs and Sustainable Solutions // *International Journal of Sediment Research*. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 262–272.
5. Zhao Q., Liu S., Deng L. Impact of Reservoir Construction on Biodiversity and Ecosystem Services // *Ecological Engineering*. – 2019. – Vol. 132. – P. 98–106.
6. Akhmetshin E.M., Kovalenko E.V. Socio-economic Consequences of Water Infrastructure Development in Kazakhstan // *Economics and Society*. – 2019. – No. 4(52). – P. 74–85.
7. Zare F., Kalantari Z. Climate Change and Water Management: The Need for Adaptive Systems // *Environmental Management and Sustainable Development*. – 2018. – Vol. 7, No. 1. – P. 55–71.
8. Sallwey J., Stefan C., Tannert A. Efficiency of MAR Systems in Arid Regions: Case Studies from Australia // *Water*. – 2019. – Vol. 11, No. 6. – P. 1189.
9. Adar E.M., Nejidat A., Yakirevich A. Wastewater Reuse and MAR in Israel: An Integrated Approach // *Water Science and Technology*. – 2012. – Vol. 66, No. 10. – P. 2125–2132.

10. Sprenger C., Grützmacher G., Greskowiak J. MAR Practices in Spain: An Overview of Applications and Performance // *Hydrogeology Journal*. – 2017. – Vol. 25, No. 4. – P. 1105–1118.
11. California Department of Water Resources. Flood-MAR: Using Flood Water for Managed Aquifer Recharge to Support Sustainable Water Resources. – Sacramento, CA: CDWR, 2018.
12. Dillon P., Pavelic P., Page D., Beringen H., Ward J. Managed Aquifer Recharge: An Introduction. – Paris: UNESCO & CSIRO Publishing, 2019.
13. Amanzholova R., Sarsekova D., Stefan C., Sagin J., King R., Timur E. TVET IT technologies support for the water resources, agro forest shelterbelts sustainability // 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Astana, Kazakhstan, 2024. – P. 239–244. – DOI: 10.1109/SIST61555.2024.10629634.
14. Hydrology Studio. Routing Through Detention Ponds. – URL: <https://learn.hydrologystudio.com/hydrology-studio/knowledge-base/routing-through-detention-ponds> (дата обращения: [01.04.2025]).

R.Sh. Amanzholova^{1*}, I.K. Rakhmetov², Z.A. Onglassynov³, D.K. Sadanova¹, J. Sagin¹

¹ *Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan, r.amanzholova@kbtu.kz, d_sadanova@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz*

² *Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan, issaraqmet@gmail.com*

³ *U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology, Almaty, Kazakhstan, zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru*

SUSTAINABLE WATER RESOURCE MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN: THE POTENTIAL OF MANAGED AQUIFER RECHARGE

Abstract

The purpose of the study: This study assesses the feasibility of applying Managed Aquifer Recharge (MAR) technologies for sustainable water resource management in Kazakhstan.

Research methodology: The study employs spatial modeling, hydrogeological analysis, and experimental testing at pilot sites. Test water injections were conducted, groundwater monitoring was performed, and hydrogeological parameters of aquifers were analyzed. Filtration characteristics, transmissivity, and electrical conductivity of the aquifer were evaluated, along with the efficiency of groundwater recharge.

Research Findings: The study confirmed the potential of MAR as an effective tool for water balance regulation in Kazakhstan. Field trials revealed that managed aquifer recharge helps reduce water loss due to evaporation, improve water quality through natural filtration, and mitigate flood risks.

Scientific novelty: This is the first comprehensive assessment of MAR applicability in Kazakhstan in the context of sustainable water resource management. Groundwater recharge models were developed considering the climatic and hydrogeological characteristics of the region. The study demonstrates the possibility of integrating MAR into national water strategies.

Practical significance: Implementing MAR in Kazakhstan will help create strategic water reserves, enhance agricultural resilience to droughts, and minimize flood-related damage. The study provides a scientific basis for developing state programs on water resource management and integrating MAR into the agro-industrial sector.

Keywords: Managed Aquifer Recharge, Hydrogeology, Sustainable Water Supply, Groundwater, Kazakhstan, Climate Adaptation, Water Resource Management.

Р.Ш. Аманжолова^{1*}, И.К. Рахметов², Ж.Ә. Оңласынов², Д.К. Саданова¹, Ж.Сагин¹

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан,
r.amanzholova@kbtu.kz, d_sadanova@kbtu.kz, j.sagin@kbtu.kz

²Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, issaraqmet@gmail.com

³АО “Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина”, Алматы, Казахстан, zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В КАЗАХСТАНЕ: ПОТЕНЦИАЛ УПРАВЛЯЕМОГО ПОПОЛНЕНИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Аннотация

Цель исследования: Оценка осуществимости применения технологий управляемого пополнения водоносных горизонтов (Managed Aquifer Recharge, MAR) для устойчивого управления водными ресурсами в Казахстане.

Методика исследования: В ходе исследования использовались методы пространственного моделирования, гидрогеологического анализа и экспериментального тестирования на пилотных участках. Проведены тестовые закачки воды, мониторинг грунтовых вод и анализ гидрологических параметров водоносных горизонтов. Оценены характеристики фильтрации, трансмиссивности и электропроводности водоносного слоя, а также эффективность пополнения запасов грунтовых вод.

Результаты исследования: Исследование подтвердило потенциал MAR как эффективного инструмента регулирования водного баланса в Казахстане. В результате полевых испытаний выявлено, что управляемое пополнение способствует сокращению потерь воды на испарение, улучшению качества воды за счёт естественной фильтрации и снижению рисков наводнений.

Научная новизна: Впервые в Казахстане проведена комплексная оценка применимости MAR в контексте устойчивого управления водными ресурсами. Разработаны модели пополнения подземных вод с учётом климатических и гидрогеологических особенностей региона. Показана возможность интеграции MAR в национальные водные стратегии.

Практическая значимость: внедрение MAR позволит Казахстану создать стратегические запасы воды, повысить устойчивость сельского хозяйства к засухам и минимизировать ущерб от паводков. Исследование представляет собой научную основу для разработки государственных программ по управлению водными ресурсами и интеграции MAR в агропромышленный сектор.

Ключевые слова: управляемое пополнение водоносных горизонтов, гидрогеология, устойчивое водоснабжение, подземные воды, Казахстан, климатическая адаптация, управление водными ресурсами.

Авторлардың үлесі: Концептуализация: Р.Ш. Аманжолова, Ж. Сагин; Деректерді іріктеу және өңдеу: Р.Ш. Аманжолова, И.К. Рахметов; Формалды талдау: Ж.Ә. Оңласынов, Р.Ш. Аманжолова; Қаржыландыруды қамтамасыз ету: Ж. Сагин, Р.Ш. Аманжолова; Зерттеу: Р.Ш. Аманжолова, И.К. Рахметов; Әдістеме: Р.Ш. Аманжолова, И.К. Рахметов; Жобаны басқару: Ж. Сагин; Ресурстар: Ж. Сагин; Бағдарламалық қамтамасыз ету: Ж.Ә. Оңласынов, И.К. Рахметов; Бақылау: Р.Ш. Аманжолова, Ж. Сагин; Тексеру (валидация): Д.Қ Саданова, Р.Ш. Аманжолова, Ж. Сагин; Көрнекі материалдарды дайындау: Д.Қ. Саданова, Р.Ш. Аманжолова; Жазу – бастапқы нұсқа: Р.Ш. Аманжолова, Д.Қ. Саданова; Жазу – шолу және түзету: Р.Ш. Аманжолова, Ж. Сагин.