

ӘОЖ 004.7: 628.14

DOI 10.52167/1609-1817-2025-139-4-324-337

Ертаева Д.Е.

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

E-mail: ertaeva_dariya@mail.ru

ИНТЕРНЕТ ЗАТТАРЫ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СУ САПАСЫНЫҢ КӨРСЕТКІШТЕРІН ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақала Интернет заттары (IoT) технологияларына негізделген су ресурстарының сапасын бақылау жүйелерін талдауға арналған. Зертханалық талдаудың дәстүрлі әдістері мен заманауи IoT шешімдерінің тиімділігіне салыстырмалы зерттеу жүргізілді, бұл бақылаудың жеделдігі мен деректерді үздіксіз қашықтан жинау мүмкіндігінің маңызды артықшылығын анықтады. Жұмыста негізгі гидрохимиялық сипаттама – судың электр өткізгіштігі егжей-тегжейлі талданды, оның минералдануына, температурасына және еріген тұздардың концентрациясына сандық тәуелділігі анықталды. IoT құрылғыларының аппараттық-техникалық компоненттерінің архитектурасы және өлшеу дәлдігін 95%-ға дейін қамтамасыз ететін су ортасының параметрлерін есептеу алгоритмдері қарастырылған. Зерттеудің практикалық маңыздылығы ластану туралы алдын-ала ескертудің интеллектуалды жүйелерін құру әдістемесін құру болып табылады, бұл нақты уақыт режимінде ұзақ су айдындарындағы су сапасының өзгеруін бақылауға мүмкіндік береді. Ұсынылған шешімдер су ресурстарын басқаруды цифрландыру және экологиялық мониторинг саласында болжамды талдауды енгізу үшін жаңа перспективалар ашады.

Түйінді сөздер: су, судың сапасы, Интернет заттарының технологиясы, судың электр өткізгіштігі.

Кіріспе.

Су жер бетіндегі тіршіліктің негізі болып табылады, бірақ оның қоры тұрақты түрде азайып, ластану деңгейі өсуде. Бұл үрдіс үлкен қауіп төндіреді, өйткені қауіпсіз су ауыз су, гигиена және өнеркәсіптік қажеттіліктер үшін өте маңызды. Пайдаланылған су ағынды суға айнала отырып, суды ұтымды басқарудың негізін құрайтын қайта пайдалану үшін тазартуды қажет етеді.

Судың сапасы адам денсаулығы, экожүйелер мен өнеркәсіптің негізгі элементі болып табылады, бірақ ластанудың өсуіне байланысты ол тұрақты түрде нашарлайды.

Қауіпсіз ауыз сумен қамтамасыз ету – бұл ағынды суларды қайта пайдалану және қайта өңдеу тұжырымдамаларының маңыздылығын көрсететін адамның негізгі қажеттіліктерінің бірі [1]. Тазартылған ағынды суларды жер асты резервуарларында сақтауға және, мысалы, суару үшін пайдалануға болады. Бұл қолдану жер асты суларының сарқылуы мен қымбаттауына тәуелділікті азайтуға мүмкіндік береді [2], сонымен қатар өзендер мен мұхиттарға тазартылмаған ағындардың төгілуін азайтады.

Ағынды суларды қайта өңдеу су тапшылығын болдырмаудың және экожүйеге зиян келтіретін ластану деңгейін төмендетудің ең тиімді әдісі болып табылады, өйткені тазартылмаған ағынды сулар өздігінен ыдырай алмайды [3]. Тазартылған және қайта пайдаланылған ағынды сулар жер асты Сулы қабаттары, өзендер мен су қоймалары сияқты табиғи тұщы су көздеріне сұраныс пен жүктемені азайту арқылы қол жетімді су көзін құрайды [4]. Бұл әсіресе су тапшылығы мен құрғақшылықтан зардап шегетін

аймақтарға қатысты. Қайта өңделген суды пайдаланудың әртүрлі бағыттары үшін оның қауіпсіздігіне кепілдік беретін тиісті тазарту стандарттары әзірленді [5]. Жер үсті су қоймаларына төгу алынбаған және қайта өңделмеген ағынды сулар үшін кең таралған тәжірибе болып қала береді [6].

Ағынды суларды тиімді өңдеу құнды ресурстарды үнемдеуге ғана емес, сонымен қатар табиғатқа жағымсыз әсерлерді азайтуға мүмкіндік береді. Тиісті тазартусыз химиялық заттар мен қоздырғыштар экожүйеге зиян келтіреді, ауылшаруашылық жерлері мен ауыз су көздерін ластайды, адам денсаулығына тікелей қауіп төндіреді. Мәселенің ауқымын статистика атап көрсетеді: миллиардқа жуық адам таза суға қол жеткізе алмайды және жыл сайын екі миллионға жуық адам оның сапасы мен антисанитариясына байланысты қайтыс болады.

Бұл сын-қатерлерді шешу үшін экологиялық басқару бағдарламаларын дамытуды және сапаны қатаң бақылауды енгізуді қоса алғанда, жүйелі шаралар қажет. Ластану факторларын түсіну оны азайтудың тиімді стратегияларын жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, судың сапасының төмендігі инфрақұрылымды жөндеуге байланысты айтарлықтай экономикалық шығындарға әкеледі, бұл оны қорғауға инвестицияларды тек экологиялық емес, сонымен қатар экономикалық қажеттілікке айналдырады.

Осылайша, ағынды суларды тазартуды, сапаны бақылауды және алдын алу шараларын әзірлеуді қамтитын суды басқарудың кешенді тәсілі тұрақты дамуды қамтамасыз етудің және халық пен планетаның денсаулығын сақтаудың негізгі шарты болып табылады.

Қазіргі заманғы технологиялық жетістіктер, соның ішінде Интернет заттар (IoT), жасанды интеллект (ЖИ), машиналық оқыту (МО) және озық сенсорлық технологиялар суды басқару жүйелерін жетілдіруге айтарлықтай үлес қосады. IoT жүйелерінің нақты уақыттағы деректерді жинау мен бақылауды қамтамасыз ету қабілеті оларды уақтылы және негізделген басқару шешімдерін қабылдаудың таптырмас құралына айналдырады.

Бұл зерттеу IoT технологияларына негізделген су сапасын бақылау жүйесін әзірлеуге бағытталған. Деректерді жинау үшін температура, қышқылдық деңгейі (рН) және ластаушы заттардың концентрациясын қоса алғанда, су сапасының негізгі параметрлерін бекітетін өзара байланысты датчиктер қолданылады. Су сапасының негізгі параметрлері қарастырылған.

Материалдар мен әдістер.

Судың сапасы.

Жер бетінің шамамен үштен екісін жабатын су тіршілік етудің негізгі ресурсын білдіреді. Алайда, қол жетімді тұщы судың қоры шектеулі, олардың едәуір бөлігі жер үсті су объектілерінде шоғырланған. Бұл сулардың сапасы ластанудың нүктелік және диффузиялық көздерінің әсерінен тұрақты түрде төмендейді, онсыз да шиеленісті жағдайды нашарлатады. Бұл деградация халықты ауыз сумен қамтамасыз етуге тікелей қауіп төндіреді, елеулі экономикалық зардаптар туғызады және мақсатты түзету шараларын әзірлеуді талап етеді.

Өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы және басқа да қажеттіліктер үшін су ресурстарының негізгі көзі болып табылатын өзендер ластануға әсіресе осал. Бұл олардың динамикалық сипатына және ластаушы заттардың тұрақты әсеріне байланысты. Судың сапасы-оның физикалық, химиялық және биологиялық жағдайын сипаттайтын кешенді көрсеткіш. Осыған байланысты жер үсті суларының сапасын дәл болжау және тиімді бақылау өте маңызды.

Судың сапасын бағалау үрдісін көптеген көрсеткіштер бойынша деректерді жинауды және жан-жақты талдауды қамтиды. Осы ақпараттың барлығын су

объектісінің жалпы сипаттамасы үшін біртұтас интегралды параметрге дейін азайту күрделі мәселе болып табылады. Оны шешу үшін арнайы әдістемелер мен құралдар әзірленді.

Судың сапасы физикалық, химиялық және биологиялық сипаттамаларды қамтиды. Судың сапасын бағалау және бақылау өте маңызды, өйткені олар адам әрекетінен пайда болатын ластаушы заттардан туындаған экологиялық проблемаларды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

Судың сапасын, атап айтқанда, ауыз судың сапасын бағалау үшін еріген оттегі, тотығу-тотықсыздану потенциалы, оттегінің химиялық және биологиялық тұтынылуы, температура, электр өткізгіштік, еріген қатты заттардың жалпы мөлшері, лайлану және қышқылдық деңгейі (РН) кіретін тоғыз негізгі параметр жиынтығы қолданылады. Бұл параметрлер нені білдіретінін қарастырыңыз.

Қышқылдық (РН) – ортаның қышқылдығын немесе сілтілігін сипаттайтын сутегі иондарының (H^+) және гидроксид иондарының (OH^-) белсенділігін анықтайтын параметр. 7-ден төмен рН мәні қышқыл ортаны, ал 7-ден жоғары сілтілі ортаны көрсетеді. Ауыз су үшін рН деңгейін 6,5-тен 8,5-ке дейін ұстап тұру ұсынылады.

Лайлану – бұл тоқтатылған бөлшектерден туындаған судың бұлттылық (бұлттылық) дәрежесін өлшейтін көрсеткіш. 5 NTU (нефелометриялық лайлану бірлігі) аз лайлылығы бар су тұтынуға қауіпсіз болып саналады.

Еріген қатты заттардың жалпы мөлшері – бұл параметр суда еріген тұздар мен органикалық қосылыстардың жалпы концентрациясын көрсетеді. Ауыз су үшін рұқсат етілген шек 500 мг/л-ден аз.

Электр өткізгіштік – бұл судың иондардың (тұздардың) концентрациясымен тікелей байланысты электр тогын өткізу қабілеті. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (ДДҰ) ауыз су үшін электр өткізгіштік мәнін 400 $\mu S/cm$ -ден төмен (сантиметрге микросименс) ұсынады.

Еріген оттегі – суда еріген оттегінің концентрациясы. Ауыз су үшін бұл көрсеткіш шамамен 6,5–8 мг/л деңгейінде сақталуы керек.

Тотығу-тотықсыздану потенциалы – бұл судың басқа заттардың тотығу немесе тотықсыздану тенденциясын сипаттайтын параметр. Ауыз су үшін +200 мВ-тан +400 мВ-қа дейінгі диапазон қолайлы болып саналады.

Ауыз су үшін 30°C-тан төмен температура ұсынылады.

Су ресурстарын бақылаудың классикалық жүйелері дәстүрлі түрде қолмен алынған сынамаларды зертханалық талдауға сүйенді. Мұндай өлшемдердің жоғары дәлдігіне қарамастан, әдіс айтарлықтай кемшіліктерге ие: ресурстарды тұтыну, айтарлықтай шығындар және деректерді жедел алудың түбегейлі мүмкін еместігі. Қосымша шектеу су сапасының қысқа мерзімді өзгерістерін бағалау және жету қиын жерлерді бақылау кезінде қолмен сынама алудың төмен өкілдігі болып табылады. Осы факторлардың жиынтығы масштабтау мүмкіндігімен үздіксіз бақылауды қамтамасыз ететін интеграцияланған жүйелерді құрудың тұрақты қажеттілігін қалыптастырады.

IoT технологиялары дәстүрлі бақылау әдістерінің шектеулерін еңсеру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Көпөлшемді деректерді талдау үшін күрделі алгоритмдерді қолдану арқылы IoT жүйелері жасырын заңдылықтарды анықтауға, су сапасының өзгеруін болжауға және классикалық тәсілдер үшін қол жетімді емес ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді. Сенсорлық желілерді, байланыс жүйелерін және бұлтты аналитиканы біріктіру нақты уақыт режимінде үздіксіз бақылауды қамтамасыз етеді. Осы технологияларды жиынтық қолдану деректерге негізделген және негізделген операциялық шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін суды басқарудың белсенді моделіне көшуге негіз жасайды.

IoT технологиясы су сапасын бағалауда.

Соңғы жылдары «Интернет заттар» термині ғылыми және практикалық қызығушылықтың артуына себеп болды, оған байланысты технологиялардың – үлкен деректердің, бұлтты есептеулердің және жасанды интеллекттің қарқынды дамуы ықпал етті [7, 8]. IoT байланысты ғаламдық іздеу сұрауларының динамикасы осы тенденцияны айқын көрсетеді.

IoT тұжырымдамасы сымды және сымсыз хаттамалар негізінде бірыңғай байланысқан интеллектуалды физикалық жүйелердің таратылған инфрақұрылымын құрайтын өзара байланысты құрылғылардың ғаламдық желісін құруды көздейді [9, 10]. IoT кеңінен енгізу өндірістің әртүрлі секторларын қамтыды, соның ішінде логистика, ақылды ауыл шаруашылығы, өнеркәсіптік автоматтандыру, ғимараттарды басқару және коммуналдық ресурстарды есепке алу [11]. Нақты уақыттағы деректерді жинау және екіжақты ақпарат алмасуды ұйымдастыру мүмкіндігінің арқасында IoT технологияларын әртүрлі су шаруашылығы салаларында қолдануға болады:

- су сапасын бақылау;
- автоматтандырылған суару жүйелері;
- жер асты суларының жағдайын бағалау;
- экологиялық мониторинг;
- ластануды бақылау;
- су тасқынын болжау [12-17].

IoT технологияларын дамыту технологиялық үрдістерді оңтайландыратын және қалдықтардың пайда болуын азайтатын интеллектуалды суды тазарту жүйелерін құруға ықпал етеді. Бұл технология автономды және өзін-өзі реттейтін жүйелерді құру үшін өзара байланысты құрылғыларды қолданатын озық шешім болып табылады. Оның тиімділігі сенсорларды, деректерді талдауды және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіру арқылы қамтамасыз етіледі, бұл тазалаудың негізгі параметрлерін үздіксіз бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді.

IoT тиімділікті, өнімділікті арттыру және инновацияларды ынталандыру үшін кең ауқымды артықшылықтарды ұсына отырып, өнеркәсіптің әртүрлі салаларында революциялық өзгерістер жасады. Орталықтандырылмаған акт негізіндегі датчиктер мен құрылғылардың көбеюі нақты уақыт режимінде негізделген шешімдер қабылдауға негіз болатын көлемді деректер массивтерін құруға мүмкіндік береді. Өнеркәсіп, логистика, ауыл шаруашылығы және денсаулық сақтау сияқты салаларда IoT үрдістерді автоматтандыруға және оңтайландыруға ықпал етеді, бұл операциялық тиімділіктің айтарлықтай жақсаруына және шығындардың төмендеуіне әкеледі.

Сонымен қатар, IoT шешімдері қызметтерді жекелендіру және өзара әрекеттесу сапасын жақсарту арқылы тұтынушы тәжірибесін жақсартуға айтарлықтай үлес қосады. Технология қауіпсіздікті қамтамасыз етуде де маңызды рөл атқарады, бұл адамдар мен активтерді қорғау үшін сенімді бақылау жүйелерін дамытуға ықпал етеді, бұл әсіресе ақылды қалаларды дамыту контекстінде маңызды.

Нәтижелер мен талқылаулар.

Қазіргі заманғы IoT архитектураға негізделген су сапасын бақылау жүйелері гетерогенді компоненттерді, соның ішінде мамандандырылған датчиктерді, микроконтроллер платформаларын және деректер алмасу протоколдарын біріктіреді. Мұндай жүйелердің ерекшелігі сенсорлық жабдықтың қатаң мамандануы болып табылады, мұнда гидрологиялық бақылау үшін су ортасының нақты талаптарына сәйкес келетін температура, лайлану, рН және жалпы еріген заттардың датчиктері қолданылады.

Әрі қарай, IoT аппараттық құрылғыларының негізгі компоненттерін және судың сапа параметрлерін есептеу әдістерін қарастырыңыз.

Аппараттық құрылғылардың негізгі компоненттері.

Температура датчиктері жартылай өткізгіш кристалдың сипаттамаларының температураға тәуелділігі принципіне жұмыс істейді, мұнда өлшеу және анықтамалық генераторлардың жиіліктерін салыстыру судың температурасын -55 -тен $+125^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ дәлдікпен дәл анықтауға мүмкіндік береді. Алынған температура көрсеткіштері су сапасының көптеген параметрлерін, соның ішінде оттегінің ерігіштігін, биохимиялық үрдістердің жылдамдығын және басқа датчиктерді өлшеудің дұрыстығын бағалау үшін өте маңызды.

Лайлану датчиктері 90° бұрышта тоқтатылған бөлшектермен шашыраған жарық сәулесінің қарқындылығын өлшеуге негізделген нефелометриялық принцип бойынша жұмыс істейді. Оптикалық жүйеге инфрақызыл сәулелену көзі мен фотодетектор кіреді, бұл $0-100$ NTU диапазонында өлшенген заттардың концентрациясын $\pm 5\%$ дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Лайлану көрсеткіштері сүзу тиімділігінің, бактериологиялық ластану дәрежесінің және су айдынының жалпы экологиялық жай-күйінің көрсеткіші ретінде қызмет етеді.

Электрохимиялық рН датчиктері Нернст теңдеуіне сәйкес арнайы шыны мембранада пайда болатын өлшеу және анықтамалық электродтар арасындағы потенциалдар айырмасы арқылы сутегі иондарының белсенділігін өлшейді. $0-14$ бірлік рН диапазонындағы ± 0.1 өлшеу дәлдігі автоматты температураны өтеу жүйесімен қамтамасыз етіледі. рН мәндері судың коррозиялық белсенділігін, ластаушы заттардың уыттылығын және гидробионттардың өмір сүру жағдайларын анықтайтын интегралды көрсеткіш болып табылады.

Әртүрлі датчиктерден алынған деректерді біріктіру рН және электр өткізгіштік өлшемдерін түзету үшін температура көрсеткіштері қолданылатын кешенді бақылауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді, ал лайлылық пен қышқыл-негіз балансын бірлесіп талдау су ортасының күйінің толық бейнесін береді. Мұндай жүйелер үздіксіз бақылауды, ластануды ерте анықтауды және су экожүйелеріндегі өзгерістерді болжауды қамтамасыз етеді, бұл әсіресе суды тазарту, аквамәдениет және қоршаған ортаны бақылау жүйелері үшін өте маңызды.

Су сапасының параметрлерін есептеу әдістері.

Бактериялардың құрамы, рН деңгейі, химиялық құрамы, лайлануы және өткізгіштігі су тазалығының маңызды көрсеткіштері болып табылады.

Электролиттердің жалпы концентрациясына байланысты электр өткізгіштік көрсеткіші ерекше маңызға ие. Бұл шаманы өлшеу судың химиялық және иондық құрамы туралы маңызды ақпарат береді, бұл потенциалды ластаушы заттарды анықтауға ғана емес, сонымен қатар оның күйін интегралды бағалауға мүмкіндік береді. Электр өткізгіштік су сапасының маңызды көрсеткіші болғандықтан, әртүрлі егжей-тегжейлі қарастырыңыз электр өткізгіштікке тәуелділік.

Электр өткізгіштік пен кедергі кері пропорционалды қатынаста болады. Ом·м-де көрсетілген меншікті кедергі – бұл материалдың электр тогының өтуіне кедергі жасау қабілетін сипаттайтын скалярлық физикалық шама. Келесі формула бойынша есептеуге болады:

$$EC = K/R \quad (1)$$

мұндағы: EC - меншікті электр өткізгіштік (См/см); K - ұяшық тұрақтысы (cm^{-1}) - өлшеу ұяшығының геометриялық сипаттамасы; R - өлшенген электр кедергісі (Ом).

Бірінші сынама үшін есептеу. $R = 250$ Ом, $K = 0.1$ cm^{-1}

$EC = 0.1/250 = 0.0004 \text{ См} / \text{см} = 400 \text{ мкСм} / \text{см} = 0.0004 \text{ см} / \text{см} \times 1,000,000 = 400 \text{ мкСм} / \text{см}$

Судың меншікті өткізгіштігі 400 мкСм / см құрайды, 1-кестеде электр өткізгіштігін есептеу үшін мәліметтер келтірілген.

1 кесте– Электр өткізгіштігін есептеу үшін бастапқы деректер

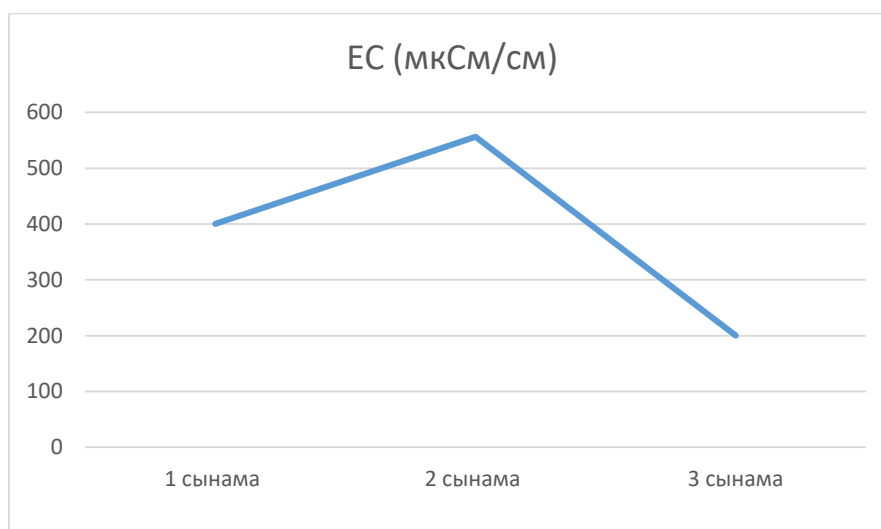
Өлшеу	Кедергі R (Ом)	Тұрақты К (см ⁻¹)	Температура (°C)
1 сынама	250	0.1	20
2 сынама	180	0.1	20
3 сынама	500	0.1	20

2-кестеде өлшеу нәтижелері көрсетілген.

2 кесте – Электр өткізгіштігін өлшеу нәтижелері

Өлшеу	EC (См/см)	EC (мкСм/см)
1 сынама	0.0004	400
2 сынама	0.000556	556
3 сынама	0.0002	200

Өлшеу нәтижесі график түрінде 1 суретте көрсетілген.



1 сурет – Электр өткізгіштігін кедергіге тәуелділігі

Температураға тәуелділік.

Судың өткізгіштігі иондардың жылу қозғалысының жоғарылауына байланысты температураның жоғарылауымен артады. Температураның 1°C жоғарылауы сұйықтықтың тұтқырлығының төмендеуіне байланысты электр өткізгіштігінің шамамен 2% өсуіне әкеледі. Бұл тәуелділік сызықтық емес және 0-30°C диапазонында айқын көрінеді. минералданған суларда температураға тәуелділік жылжымалы иондардың көп болуына байланысты күштірек көрінеді. Температуралық әсерді болдырмау үшін көрсеткіштер түзету коэффициенттерін қолдана отырып, 25°C стандартты жағдайларға әкеледі. Заманауи датчиктер кіріктірілген термисторларды қолдана отырып, температураның ауытқуын автоматты түрде өтейді. Электр өткізгіштігінің температуралық коэффициентіне сәйкес судың иондық құрамын жанама түрде бағалауға болады.

$$EC_{25} = EC_t / [1 + \alpha(T - 25)] \quad (2)$$

мұндағы: EC_{25} -25°C (мкСм/см) дейін төмендетілген электр өткізгіштік; EC_t -T температурасында өлшенген электр өткізгіштік (мкСм / см); α -температура коэффициенті (°C⁻¹), әдетте табиғи сулар үшін 0.019-0.022; T-өлшеу температурасы (°C).

3-кестеде өлшеуге арналған мәліметтер келтірілген.

3 кесте – Өртүрлі температураға арналған мәліметтер

Сынама	EC_t (мкСм/см)	T (°C)	α (°C ⁻¹)
A	450	15	0.02
B	380	30	0.02
C	520	10	0.02

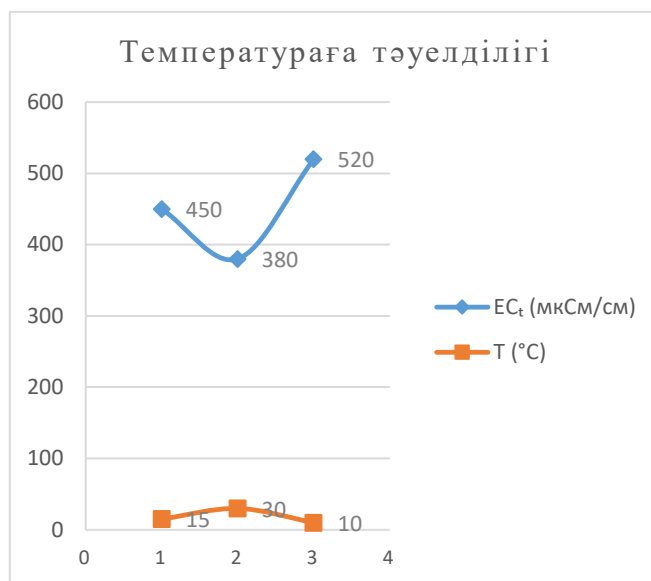
Өлшеу нәтижелері:

Сынама А: $EC_{25} = 450 / [1 + 0.02*(15-25)] = 450 / 0.8 = 562.5$ мкСм/см

Сынама В: $EC_{25} = 380 / [1 + 0.02*(30-25)] = 380 / 1.1 = 345.5$ мкСм/см

Сынама С: $EC_{25} = 520 / [1 + 0.02*(10-25)] = 520 / 0.7 = 742.9$ мкСм/см

Өлшеу нәтижесі график түрінде 2 суретте көрсетілген.



2 сурет – Электр өткізгіштігін температураға тәуелділігі

Электр өткізгіштік арқылы судың минералдануын бағалау.

Электр өткізгіштік арқылы судың минералдануын бағалау еріген иондардың концентрациясы мен судың электр тогын өткізу қабілеті арасындағы тікелей байланысқа негізделген, мұнда меншікті электр өткізгіштік тұз құрамының интегралды көрсеткіші ретінде қызмет етеді. Электр өткізгіштігін минералдану мәніне қайта есептеу үшін формула қолданылады:

$$TDS = k \times EC, \quad (3)$$

мұндағы k-коэффициент, әдетте 0.55-0.75 (орташа 0.65).

Өлшеу дәлдігіне электр өткізгіштігінің температураға тәуелділігі айтарлықтай әсер етеді. Қазіргі заманғы кондуктометрлер температураның ауытқуын кіріктірілген жылу датчиктері мен түзету алгоритмдерінің көмегімен автоматты түрде түзетеді, бұл 2% шегінде өлшеу қателігін қамтамасыз етеді. Бұл әдіс минералдануы 10 г / л дейінгі сулар үшін тиімді, өйткені жоғары концентрацияда ионаралық өзара әрекеттесуге байланысты тәуелділіктің сызықтығы бұзылады. Нәтижелерді түсіндіру типтік мәндерге сүйенеді: мысалы, 500 мкСм/см электр өткізгіштігі k = 0.65 коэффициентінде шамамен 325 мг/л минералдануға сәйкес келеді, бұл сапалы ауыз суға тән. Осылайша, кондуктометриялық әдіс температуралық әсерлерді дұрыс есепке алу және жабдықты калибрлеу жағдайында тұздың құрамын тез және сенімді анықтауды қамтамасыз етеді. 4-кестеде есептеу үшін мәліметтер келтірілген.

4 кесте – Электр өткізгіштігін есептеу үшін бастапқы деректер

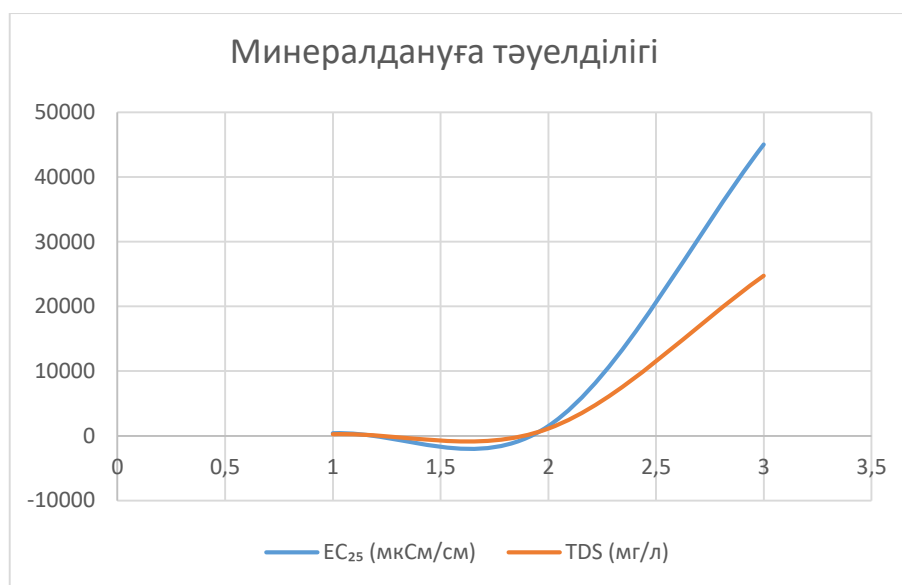
Су түрі	Коэффициент k
Тұщы	0.65
Минералды	0.75

Су түрі	Коэффициент k
Теңіз	0.55

5 кесте - Өлшеу нәтижелері

Сынама	EC ₂₅ (мкСм/см)	k	TDS (мг/л)
Өзен суы	400	0.65	260
Минералды су	1500	0.75	1125
Теңіз суы	45000	0.55	24750

Өлшеу нәтижесі график түрінде 3 суретте көрсетілген.



2 сурет – Электр өткізгіштігін минералдануға тәуелділігі

Электр өткізгіштігінің тұз концентрациясына тәуелділігі.

Судың электр өткізгіштігі еріген тұздардың жалпы концентрациясына тура пропорционал, өйткені бұл электр зарядын тасымалдаушы иондар. Бұл тәуелділік төмен және орташа концентрация аймағында сызықтық болып табылады, мұнда әрбір иондық түр жалпы өткізгіштікке тәуелсіз үлес қосады. Сұйылтылған ерітінділер үшін электр өткізгіштігі еріген тұздардың әр мг/л үшін 2-3 мкСм/см-ге артады деген жуықтау әділ. Алайда, жоғары концентрацияда (әдетте 1000 мг/л-ден жоғары) сызықтық иондар арасындағы электростатикалық өзара әрекеттесу мен иондық жұптардың түзілуіне байланысты бұзылады. Электр өткізгіштік пен минералдану арасындағы калибрлеу коэффициенті иондық құрамға байланысты 0.5-тен 0.8-ге дейін

өзгереді, көптеген табиғи тұщы сулар үшін шамамен 0.65 мәндерін алады. Төмендегі формуламен есептеледі:

$$EC = \sum(c_i \times \lambda_i), \quad (4)$$

мұндағы c_i – i ионның молярлық концентрациясы; λ_i – i ионның молярлық электр өткізгіштігі.

6-кестеде электр өткізгіштіктің NaCl концентрациясына тәуелділігі көрсетілген.

6 кесте – EC NaCl концентрациясына тәуелділігі

Концентрация NaCl (мг/л)	Концентрация (моль/л)	ЕС теориялық (мкСм/см)	ЕС жеңілдетілген (мкСм/см)	Қателігі (%)
0	0.0000	0	0	0
50	0.0009	108	100	-7.4
100	0.0017	216	200	-7.4
200	0.0034	432	400	-7.4
500	0.0086	1082	1000	-7.6
1000	0.0171	2164	2000	-7.6
2000	0.0342	4328	4000	-7.6

7 кесте– 500 мг/л NaCl ерітіндісі үшін ЕС температураға тәуелділігі

Температура (°C)	ЕС компенсациясыз (мкСм/см)	ЕС при 25°C (мкСм/см)	Түзету коэффициенті
5	782	1082	0.723
15	946	1082	0.874
20	1025	1082	0.947
25	1082	1082	1.000
30	1143	1082	1.056
35	1208	1082	1.116

8 кесте – Өртүрлі су түрлері үшін ЕС концентрациясына тәуелділігі

Концентрация (мг/л)	Дистилденген	Ауыз су	Өзен су	Минералды су	Теңіз суы
50	2	85	95	120	-
100	4	165	185	240	-
500	20	825	925	1200	-
1000	40	1650	1850	2400	-
10000	-	-	-	-	20000
35000	-	-	-	-	53000

9 кесте – Өртүрлі су орталарын салыстыру. Электр өткізгіштіктің типтік мәндері

Су түрі	ЕС (мкСм/см) Ауқымы	орташа TDS (мг/л)
Дистилденген	0.5-5	0.3-3.3
Жанбыр суы	5-30	3-20
Ауыз су	50-800	33-520
Өзен суы	100-1500	65-975
Теңізсуы	45,000-55,000	24,750-30,250

Жүргізілген зерттеулер электр өткізгіштіктің судың минералдануымен тікелей корреляциясын растайды, бұл осы параметрді тұз құрамының сенімді индикаторы ретінде 5-7% - дан аспайтын қателікпен пайдалануға мүмкіндік береді. 1.8-2.2%/°C белгіленген температураға тәуелділік 90-95% деңгейінде минералдануды анықтау дәлдігін қамтамасыз ете отырып, 25°C стандартты шарттарға келтіру алгоритмдерімен сәтті өтеледі. Электрохимиялық әдіс судың иондық құрамының өзгеруіне сезімталдықтың арқасында ластануды үздіксіз бақылау және жедел анықтау тиімділігін көрсетеді. Әдістің артықшылықтарына нәтижелердің жоғары қайталануы, аппараттық құралдарды іске асырудың қарапайымдылығы және судың коррозиялық белсенділігі мен технологиялық қасиеттерін интегралды бағалау мүмкіндігі кіреді. Ал IoT-технологияларының интеграциясы интеллектуалды жүйелерді құру үшін әдіснамалық негіз жасайды, онда көп параметрлік талдау және деректерді өңдеу алгоритмдерін жетілдіру уақытша рұқсатпен су ресурстарының сапасына кешенді мониторингті

қамтамасыз етеді және гидрохимиялық көрсеткіштер кешені бойынша су сапасын жедел бағалауды қамтамасыз етеді.

Қорытынды.

Бұл жұмыс су жай-күйін мониторингілеу және бағалау міндеттерін шешу үшін IoT технологияларын қолдануға арналған. Жеделдіктің жетіспеушілігінен зардап шегетін қолмен сынама жинауға және кейінгі зертханалық талдауға негізделген конвенциялық тәсілдерден айырмашылығы, IoT жүйелері үздіксіз қашықтан бақылауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Негізгі артықшылығы – IoT технологияларының жасырын үлгілерді анықтау, болжамдар жасау және ауытқуларды уақтылы анықтау арқылы күрделі деректер массивтерін өңдеу мүмкіндігі.

Осы екі мүмкіндікті біріктіру мысалы, деректерді үнемі жинау және оларды терең талдау судың сапасын бақылаудың мүлдем жаңа тәсілін жасайды. Мұндай кешенді әдіс үш негізгі параметрді жақсартып қана қоймайды: өлшеу дәлдігі, үлкен аумақтарды қамту мүмкіндігі және ластануды анықтау жылдамдығы, сонымен қатар тиімді ерте ескерту жүйелерін құруға мүмкіндік береді. Бұл қазіргі заманғы су ресурстарын басқарудың жаңа перспективаларын ашады.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Sathishkumar, V.; Venkatesan, S.; Park, J.; Shin, C.; Kim, Y.; Cho, Y. Nutrient water supply prediction for fruit production in greenhouse environment using artificial neural networks. In *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2020; Volume 126, pp. 257–258.

[2] Venkatesan, S.; Sathishkumar, V.; Park, J.; Shin, C.; Cho, Y. A Prediction of nutrition water for strawberry production using linear regression. *Int. J. Adv. Smart Converg.* 2020, 9, 132–140.

[3] Salami, A.F.; Adedokun, E.A.; Al-Turjman, F.; Bello-Salau, H.; Sadiq, B.O.; Dogo, E.M. Explorative analysis of AUV-aided cluster-based routing protocols for Internet of intelligent underwater sensors. In *Drones in Smart-Cities*; Elsevier: Amsterdam. The Netherlands, 2020; pp. 143–187

[4] Gupta, O.; Goyal, N.; Anand, D.; Kadry, S.; Nam, Y.; Singh, A. Underwater networked wireless sensor data collection for computational intelligence techniques: Issues, challenges, and approaches. *IEEE Access* 2020, 8, 122959–122974.

[5] Sundarasekar, R.; Shakeel, P.M.; Baskar, S.; Kadry, S.; Mastorakis, G.; Mavromoustakis, C.X.; Samuel, R.D.J.; Gn, V. Adaptive energy aware quality of service for reliable data transfer in under water acoustic sensor networks. *IEEE Access* 2019, 7, 80093–80103.

[6] Khan, W.A.; Khan, M.I.; Kadry, S.; Farooq, S.; Khan, M.I.; Abbas, S.Z. Transportation of water-based trapped bolus of SWCNTs and MWCNTs with entropy optimization in a non-uniform channel. *Neural Comput. Appl.* 2020, 32, 13565–13576.

[7] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener Comput Syst.* 2013; 29(7):1645–60.

[8] Rath KC, Khang A, Roy D. The role of Internet of Things (IoT) technology in Industry 4.0 economy. In: *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4/0 digital economy*. Boca Raton: CRC Press; 2024. p. 1–28.

[9] Chourasiya S, Mohapatra PK, Tripathi S. Non-intrusive underwater measurement of mobile bottom surface. *Adv Water Resour.* 2017; 104: 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.03.009>.

[10] Chen Y, Han D. Water quality monitoring in smart city: a pilot project. *Autom Constr.* 2018; 89:307–16.

[11] Yaqoob I, Ahmed E, Hashem IAT, Ahmed AIA., Gani A, Imran M, Guizani M. Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *IEEE wireless communications.* 2017; 24(3):10–16.

[12] Karn AL, Pandya S, Mehbodniya A, Arslan F, Sharma DK, Phasinam K, Sengan S. An integrated approach for sustainable development of wastewater treatment and management system using IoT in smart cities. *Soft Comput.* 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06244-9>.

[13] Wong YJ, Nakayama R, Shimizu Y, Kamiya A, Shen S, Rashid IZM, Sulaiman NMN. Toward industrial revolution 4.0: development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. *J Clean Prod.* 2021; 324: 129230.

[14] Xu J, Gu B, Tian G. Review of agricultural IoT technology. *Artif Intell Agric.* 2022; 6:10–22.

[15] Zakaria MI, Jabbar WA, Sulaiman N. Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas. *Internet Things Cyber-Phys Syst.* 2023; 3:249–61.

[16] Espinoza Ortiz M, Apún Molina JP, Belmonte Jiménez SI, Herrera Barrientos J, Peinado Guevara HJ, Santamaria Miranda A. Development of Low-Cost IoT system for monitoring piezometric level and temperature of groundwater. *Sensors.* 2023; 23(23):9364.

[17] Wong BP, Kerkez B. Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services. *Environmental Modelling & Software,* 2016; 84:505–517.

Daria Yertayeva, master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, ertaeva_dariya@mail.ru

ANALYSIS OF WATER QUALITY INDICATORS USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Abstract. The article is devoted to the analysis of water resources quality control systems based on Internet of Things (IoT) technologies. A comparative study of the effectiveness of traditional laboratory analysis methods and modern IoT solutions was conducted, which revealed a significant advantage of rapid monitoring and the possibility of continuous remote data collection. The main hydrochemical characteristic, the electrical conductivity of water, is analyzed in detail, and its quantitative dependence on mineralization, temperature, and concentration of dissolved salts is revealed. The architecture of the hardware and technical components of IoT devices and algorithms for calculating the parameters of the aquatic environment, ensuring measurement accuracy up to 95%, are considered. The practical significance of the research lies in the development of a methodology for creating intelligent pollution warning systems that allow monitoring changes in water quality in long reservoirs in real time. The proposed solutions open up new prospects for the implementation of predictive analysis in the field of digitalization of water resources management and environmental monitoring.

Keywords: water, water quality, Internet of Things technology, electrical conductivity of water.

Дария Ертаева, магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, ertaeva_dariya@mail.ru

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Аннотация. Статья посвящена анализу систем контроля качества водных ресурсов, основанных на технологиях Интернета вещей (IoT). Было проведено сравнительное исследование эффективности традиционных методов лабораторного анализа и современных IoT-решений, которое выявило значительное преимущество оперативности наблюдения и возможности непрерывного удаленного сбора данных. В работе подробно проанализирована основная гидрохимическая характеристика – электропроводность воды, выявлена ее количественная зависимость от минерализации, температуры и концентрации растворенных солей. Рассмотрены архитектура аппаратно-технических компонентов устройств IoT и алгоритмы расчета параметров водной среды, обеспечивающие точность измерений до 95%. Практическая значимость исследования заключается в разработке методики создания интеллектуальных систем предупреждения о загрязнении, позволяющих отслеживать изменения качества воды в длинных водоемах в режиме реального времени. Предлагаемые решения открывают новые перспективы для внедрения прогностического анализа в области цифровизации управления водными ресурсами и экологического мониторинга.

Ключевые слова: вода, качество воды, технология Интернет вещей, электропроводность воды.

Қабылданған күні: 2025 жылғы 19 ақпан
Рецензиядан өткен күні: 2025 жылғы 23 сәуір
Мақұлданған күні: 2025 жылғы 03 тамыз