

Базарбай Лашынның
6D071600 – «Аспап жасау» мамандығы бойынша философия
докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
«Су көрсеткіштерін бақылаудың мультисенсорлық жүйесін
әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АНДАТПА

Жұмыстың тақырыбының өзектілігі. Қазіргі таңда су сапасын тұрақты бақылау – маңызды ғылыми және техникалық міндеттердің бірі болып отыр. Су - тірі ағзалардың өмір сүруін қамтамасыз ететін негізгі биологиялық элемент және жер үсті экожүйелерінің басты табиғи ресурсы. Су сапасын бақылау – экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің маңызды және стратегиялық міндеттерінің бірі болып табылады. Дегенмен, су сапасын бағалау – күрделі процесс. Судың негізгі қасиеттері мен сапалық көрсеткіштері арнайы аналитикалық бақылау әдістері арқылы бағаланады, бұл оның экологиялық жағдайын кешенді түрде сипаттауға мүмкіндік береді. Судың сапасына оның физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттерін өзгертетін әртүрлі антропогендік (адам әрекетінен туындайтын) және табиғи экологиялық факторлар ықпал етеді.

Судың сапасын бақылаудың дәстүрлі тәсілі белгілі бір су нысандарының сапасын бақылау жүйесі, су үлгілерін (сынамаларын) алып, оларды зертханалық жағдайда талдау жүргізуге негізделген. Мұндай әдіс судың физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттерін анықтауға мүмкіндік бергенімен, бірнеше елеулі шектеулерге ие.

Дәстүрлі әдістердің шектеулілігіне байланысты температура, қышқылдық (pH), лайлану, электрөткізгіштік және тотығу-тотықсыздану потенциалы сияқты негізгі көрсеткіштерді бір мезгілде өлшейтін мультисенсорлық жүйе әзірлеу өзекті болып отыр. Жүргізілген зерттеулер өлшем қателігінің 3%-дан аспайтынын, параметрлер арасында статистикалық тұрғыдан мәнді корреляциялық байланыстардың бар екенін көрсетті. Бұл жүйенің жоғары дәлдігін, сенімділігін және су ортасының өзгерістерін кешенді бағалау мүмкіндігін дәлелдейді. Демек, ұсынылған мультисенсорлық модель су сапасын жедел әрі сенімді бақылауды қамтамасыз етіп, экологиялық мониторинг пен су ресурстарын басқаруда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Осыған орай су сапасын үздіксіз бақылауға арналған мультисенсорлық жүйелерді әзірлеу экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің және су ресурстарын тиімді басқарудың заманауи шешімі болып табылады.

Заттар интернеті (IoT) технологиясының пайда болуымен судың сапасын жиі және үздіксіз бақылауға мүмкіндік беретін жаңа тәсілдер жасалды. Бұл

әдістер судың сапасы туралы толық әрі нақты ақпарат алуға жағдай жасайды.

Осыған байланысты заманауи технологияларға негізделген жаңа әдістерді енгізу өзекті мәселе болып отыр. Заттар интернеті (IoT) негізіндегі интеллектуалды бақылау жүйелері судың сапасын үздіксіз және қашықтықтан өлшеуге мүмкіндік береді, осылайша нақты уақыт режимінде деректер алу мен талдау процесін қамтамасыз етеді.

Бұл жүйе жоғары дәлдік пен сенімділікті қамтамасыз етіп, су ортасының сапалық өзгерістерін кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Демек, ұсынылып отырған мультисенсорлық модель су сапасын жедел және сенімді бақылауға жағдай жасап, экологиялық мониторинг пен су ресурстарын басқару жүйелерінде тиімді қолдануға негіз болады.

Зерттеу тақырыбының даму дәрежесі. Су сапасын бақылау мәселесі экология, гидрология және инженерлік мониторинг жүйелері саласындағы заманауи ғылыми зерттеулердің басым бағыттарының бірі болып табылады. Су ресурстарының жай-күйін бағалау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету, халық денсаулығын қорғау және табиғи ресурстарды тиімді пайдалану тұрғысынан маңызды. Осыған байланысты ғылыми әдебиеттерде су ортасының параметрлерін бақылауға арналған әдістер мен техникалық құралдарды әзірлеуге бағытталған зерттеулер кеңінен қарастырылған.

Су сапасын бақылаудың дәстүрлі тәсілдері негізінен судың физика-химиялық және биологиялық көрсеткіштерін жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік беретін зертханалық талдау әдістеріне негізделеді. Мұндай әдістер отандық және шетелдік зерттеушілердің су ортасын аналитикалық бақылау мәселелеріне арналған еңбектерінде жан-жақты қарастырылған. Алайда зертханалық әдістерді қолдану көп уақытты, арнайы жабдықтарды қажет етеді және су ортасының параметрлерінің өзгерістерін жедел түрде бақылауға әрдайым мүмкіндік бермейді.

Соңғы жылдары сенсорлық технологияларды қолдануға негізделген су сапасын бақылаудың автоматтандырылған жүйелерін әзірлеуге ерекше назар аударылуда. Ғылыми жарияланымдарда рН, температура, электрөткізгіштік, лайлану, еріген оттегі және тотығу-тотықсыздану потенциалы сияқты көрсеткіштерді өлшеуге арналған әртүрлі сенсор түрлері қарастырылған. Сенсорлық технологияларды қолдану өлшеулерді тікелей бақылау нүктесінде жүргізуге және нақты уақыт режимінде деректер алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі зерттеулерде су ортасының бірнеше параметрін бір уақытта өлшеуге мүмкіндік беретін мультисенсорлық бақылау жүйелері ерекше орын алады. Мұндай жүйелер судың күйін кешенді түрде бағалауға және әртүрлі сапа көрсеткіштері арасындағы өзара байланысты анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар ғылыми жұмыстарда өлшеу деректерін өңдеу әдістері, соның ішінде статистикалық талдау, корреляциялық

зерттеулер, регрессиялық модельдеу және су ортасының өзгерістерін болжау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану мәселелері қарастырылады.

Дегенмен, қолданыстағы шешімдерді талдау көптеген дамыған жүйелердің жоғары құны, күрделі архитектурасы және экологиялық мониторинг жүйелеріне интеграциялау мен масштабтаудың шектеулі мүмкіндіктері бар екенін көрсетеді. Сонымен қатар бірнеше сенсордан алынған деректерді кешенді өңдеу және мультисенсорлық өлшеулер негізінде су ортасының күйін бағалау дәлдігін арттыру мәселелері жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Осылайша, су сапасын бақылау саласында көптеген ғылыми зерттеулер жүргізілгеніне қарамастан, су ортасының параметрлерін бақылауға арналған тиімді, қолжетімді және сенімді мультисенсорлық жүйелерді әзірлеу мәселесі әлі де өзекті болып қалып отыр. Бұл мультисенсорлық бақылау жүйелерінде алынатын деректерді өлшеу, өңдеу және талдау әдістерін жетілдіруге бағытталған қосымша ғылыми зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу нысаны - су экожүйелерінің физикалық және химиялық параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік беретін, заттар интернеті (IoT) технологиясына негізделген мультисенсорлық өлшеу жүйесі.

Зерттеу пәні - Су ортасының параметрлерін мультисенсорлық бақылаудың әдістері мен құралдары, сондай-ақ су сапасының негізгі көрсеткіштерін бақылау барысында алынған деректерді өлшеу, өңдеу және талдау процестері зерттеу пәні болып табылады.

Зерттеу барысында температура, қышқылдық (pH), лайлану, электрөткізгіштік және тотығу-тотықсыздану потенциалы сияқты көрсеткіштерді бір мезгілде өлшеуге мүмкіндік беретін мультисенсорлық жүйені құру принциптері қарастырылады. Сонымен қатар су ортасының күйін кешенді бағалау мақсатында алынған өлшеу деректерін статистикалық өңдеу және оларды ғылыми тұрғыдан түсіндіру әдістері зерттеледі.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты су сапасын аналитикалық бақылаудың физикалық әдістеріне негізделген, бірқатар сандық көрсеткіштерді өлшеуге арналған мультисенсорлық жүйені әзірлеу болып табылады.

Зерттеу міндеттері. Қойылған мақсатты ескере отырып, диссертациялық жұмыс шеңберінде шешуді талап ететін ғылыми міндеттер айқындалады:

- су сапасын бақылауға арналған бес көрсеткіштерді (температура, формазин бойынша лайлылық, қышқылдық, кондуктивтілік және тотығу-тотықсыздану потенциалы) өлшеуге қолданылатын әдістеріне негізделген сыни талдау;
- судың физика-химиялық көрсеткіштерін өлшеуге арналған датчиктерді іріктей отырып, су сапасын бақылауға қамтамасыз ететін мультисенсорлық жүйені әзірлеу.
- мультисенсорлық жүйенің аппараттық және бағдарламалық архитектурасын әзірлеу;
- алынған өлшеу деректері негізінде су көрсеткіштері арасындағы өзара байланыстарды корреляциялық және регрессиялық әдістермен талдау;
- температураның су сапасы көрсеткіштеріне әсерін зерттеп, оларды сипаттайтын сызықтық регрессиялық моделін құру.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыста зерттеу мақсаттарына жету және қойылған ғылыми міндеттерді шешу үшін бірқатар өзара толықтыратын әдістердің жиынтығы қолданылды. Оларға аналитикалық шолу, эксперименттік зерттеу, математикалық модельдеу, метрологиялық бағалау, стохастикалық және статистикалық талдау, бағдарламалық модельдеу және өлшеу нәтижелерін өңдеу әдістемелері қолданылды.

Ғылыми жаңалығы:

1. Физикалық датчиктерге негізделген алғаш рет жаңа мультисенсорлық жүйе ұсынылып, оның су сапасының бес негізгі көрсеткіштері – температура, қышқылдық, формазин бойынша лайлану, өткізгіштік және судың тотығу-тотықсыздану потенциалы – бір мезгілде өлшеуді қамтамасыз ететіні дәлелденді. Бұған дейінгі жүйелер тек үш-төрт көрсеткішті қамтығандықтан, бұл жүйе су сапасын кешенді бақылау мүмкіндігін кеңейтіп, бұрынғы әдістемелік шектеулерді жоюға мүмкіндік береді.
2. Зерттеу нәтижесінде су температурасының басқа көрсеткіштерге айтарлықтай ықпалы бар екенін көрсетілді. Температура көтерілуі кезінде қышқылдығы, өткізгіштігі және формазин бойынша лайлану төмендеп, ал судың тотығу-тотықсыздану потенциалы өскенін тәжірибелік сынақтар нәтижесінде дәлелденді.
3. Зерттеу жұмысы аясында 10 000-нан астам өлшеу нәтижесі қолданылып, бұл деректер жиынтығы регрессиялық модельдің статистикалық сенімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етті. Барлық модель коэффициенттерінің p -мәндері 0,05-тен төмен болғандықтан, алынған нәтижелердің болжамдық қабілеті мен статистикалық маңыздылығы жоғары екені дәлелденді.

Жұмыстың теориялық маңыздылығы Мультисенсорлық технологиялар негізінде су сапасын мониторингтеудің ғылыми-әдістемелік

негіздерін дамыту зерттеу жұмысының негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Жұмыста су ортасының параметрлерін бақылауға арналған мультисенсорлық жүйені құрудың ғылыми негіздері қарастырылып, су ортасының жағдайын кешенді бағалау үшін өлшеу деректерін статистикалық өңдеу әдістері ұсынылған.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

- тәжірибелік жұмыстар нәтижесінде, әзірленген интернет заттарына (IoT) негізделген мультисенсорлық жүйе су сапасын нақты уақыт режимінде кешенді бақылауды қамтамасыз етеді;

- ғылыми-зерттеу нәтижелерін білім беру мекемелерінде, экожүйелік зерттеулерде, өнеркәсіптік және коммуналдық су көздерінде, сондай-ақ ауыл шаруашылығы мен тұрмыстық деңгейде су сапасын бақылау мақсатында кеңінен қолдануға енгізу көзделеді;

- әзірленген әдістемелік және техникалық шешімдер су сапасын кешенді бақылау саласында қолдануға бейімделген және оларды ең алдымен салалық ұйымдар мен мекемелердің практикалық қызметінде тиімді пайдалану өзектілігі;

- алынған деректердің бұлтты серверге автоматты түрде жіберіліп, визуализациялануы жүйені қашықтан басқаруға және жедел талдау жүргізуге қамтамасыз етеді;

- Су көрсеткіштерін бақылаудың мультисенсорлық жүйесін практикада қолдану бойынша ұсыныстар.

Қорғауға ұсынылатын тұжырымдар:

- Су сапасының негізгі бес көрсеткіштері (температура, қышқылдық, формазин бойынша лайлану, өткізгіштік және судың тотығу-тотықсыздану потенциалы) нақты уақыт режимінде өлшеуге арналған мультисенсорлық жүйе әзірленіп, оның тиімділігі мен сенімділігі тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде расталды.

- Жүргізілген корреляциялық-регрессиялық талдау нәтижесінде су сапасының көрсеткіштері арасындағы статистикалық тұрғыда маңызды өзара байланыстар анықталды. Әсіресе температураның басқа көрсеткіштерге күшті әсер ететіні және су сапасын болжау модельдерінде негізгі предиктор ретінде қолдануға болатындығы дәлелденді.

- Жиынтық өлшеу кезіндегі салыстырмалы қателіктің 3%-тен аспауы алынған нәтижелердің сенімділігін дәлелдеді. Зерттеу барысында судың сапалық көрсеткіштерін өлшеу кезінде маңыздылық деңгейі $p < 0,05$ кезінде судың физикалық қасиеттерімен байланысты корреляция $r = 0,3238$ -ден $r = 0,6999$ -ге дейінгі маңызды және кездейсоқ емес байланыс анықталынып, физикалық қасиеттерімен өзара байланысы сипатталды.

- Су сапасының негізгі көрсеткіштері арасындағы өзара тәуелділікті сипаттайтын регрессиялық модель әзірленіп, оның тиімділігі тәжірибелік деректер арқылы дәлелденді. Зерттеу нәтижелері судың температурасы

жоғарылаған сайын қышқылдық, өткізгіштік және лайлылық көрсеткіштерінің төмендеу тенденциясы ($r = - 0,889... - 0,998$) байқалатынын көрсетті. Сонымен қатар, маусымдық өзгерістерге байланысты температураның жоғарылауы тотығу-тотықсыздану потенциалының көрсеткіштерін арттыратыны ($r_{\text{күз}}=0,940$, $r_{\text{көктем}}=0,908$) анықталды.

Жұмыс нәтижелерінің сенімділік дәрежесі, қазіргі заманғы өлшеу әдістерін қолдану, алынған деректерді статистикалық өңдеу және эксперименттік зерттеулер жүргізу арқылы қамтамасыз етілді. Өзірленген жүйенің дәлдігі өлшеулердің салыстырмалы қателігінің 3%-дан аспайтынымен дәлелденеді. Сонымен қатар су сапасының параметрлері арасындағы статистикалық маңызды тәуелділіктер корреляциялық-регрессиялық талдау негізінде анықталып, олардың маңыздылығы $p < 0,05$ деңгейінде расталды.

Зерттеу нәтижелерін апробациялау. Диссертациялық жұмыстың ғылыми зерттеу нәтижелері бойынша 15 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде 3 мақала: Scopus (1 мақала Q3/45) және 2 халықаралық дәйексөздер базасына енгізілген шетелдік басылымдарда, 4 мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынатын ғылыми басылымындарында жарияланды және 7 халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияларда сонымен қатар пайдалы модельдерге Қазақстан Республикасының 1 патенті алынды.