

Л. Базарбай¹, А.Е. Алтайұлы¹, Қ.Ә. Өжікенов¹,
М. Тұрдалыұлы², О.Ж. Мамырбаев²

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан
E-mail: m.turdalyuly@satbayev.university

СУДЫҢ САПА КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ТЕМПЕРАТУРАНЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Мақалада жасанды интеллект әдісін қолдана отырып, су сапасын бағалау моделін әзірлеу нәтижелері келтірілген. Ұсынылған модель сызықтық регрессияға негізделген, ол бағалау кезінде су сапасының өлшенген біріктірілген көрсеткіштері арасындағы статистикалық маңызды кездейсоқ емес байланысты анықтады. Біріктірілген көрсеткіштердің өзара байланысы скатерограмма көмегімен бейнеленген және ең кіші квадраттар әдісі негізінде аппроксималаланған. Өлшенген көрсеткіштердің ішінде қышқылдыққа, кондуктивтілікке, лайлануға және тотығу-тотықсыздану потенциалына ең ықпалды болжаушы судың температурасы екені анықталды. Көрсеткіштердің белгіленген маңызды және кездейсоқ емес байланысы негізінен бақылау уақытына байланысты судың температурасының жоғарылауы мен төмендеуі кезінде болатын физикалық процестерге температураның әсерімен байланысты. Әзірленген математикалық модель температураның бағаланатын көрсеткіштерге әсерін барынша толық сипаттайды, оның өнімділігі Пирсон әдісіне негізделген корреляция коэффициентін және модельдің детерминациясы мен сенімділік коэффициенттерін есептеу арқылы расталады. Регрессиялық модель судың сапасын бақылаудың сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін жаңа немесе бұрыннан белгілі аспаптар мен жүйелерді жетілдіруде қолданылады.

Түйінді сөздер. Судың сапасын бақылау, жасанды интеллект, сызықтық регрессия, температура, қышқылдық, лайлылық, кондуктивтілік.

Кіріспе.

Су тірі ағзадағы негізгі өмірлік элементтердің бірі, жер үсті және су экожүйелері үшін негізгі ресурс болып табылады. Әр түрлі факторлардың, атап айтқанда антропогендік және экологиялық факторлардың әсері судың биологиялық, физикалық және химиялық қасиеттерінде айтарлықтай өзгеріске ұшыратып, оның сапасын төмендетуі мүмкін. Осыны ескере отырып, қазіргі уақытта судың сапасын бақылау зертханалық жағдайда қысқа мерзімде және өлшенген деректерді қашықтықтан жіберуге арналған заттар интернеті (IoT) құрылғыларын қамтитын мамандандырылған өлшеу жүйелерінің көмегінің негізде жүзеге асырады. Судың сапасын бақылаудың аталған түрлерінің ішінде ұзақ мерзімді бақылау қысқа мерзімді бақылау кезінде уақтылы анықталмайтын бірқатар маңызды өзгерістерді анықтай алады. Осыған байланысты нақты уақыт режимінде судың сапасын ұзақ уақыт бойы бақылау бұл шешімге кешенді көзқарасты қажет ететін маңызды болып саналады.

Кешенді тәсілді қалыптастыру қағидаттарына сүйене отырып, бұл жұмыста судың сапасын бағалау моделін әзірлеу үшін температураны (t), формазин бойынша лайлылықты (ФБЛ), қышқылдықты (рН), кондуктивтілігін (C) және тотығу-тотықсыздану потенциалын (ТПП, e) өлшеуге мүмкіндік беретін заманауи датчиктерді қолдана отырып, ұзақ мерзімді бақылау қарастырылып отырған мақалада жүзеге асырылады. Судың сапасын бақылау үшін бес көрсеткіштің бірлескен өлшемдері қазіргі кезде тиісті түрде зерттелмегенін атап

өту маңызды және бұл жарияланған ғылыми жұмыстардың нәтижелермен расталады [1-15]. Мұны негізінен қышқылдық, лайлылық және кондуктивтілік датчиктері судың сапасын бірлесіп бағалау үшін қолданылатындығымен байланыстыруға болады, ал басқа зерттеушілер ТТП датчигінсіз, тек температураны біріктіреді. Су көрсеткіштерін ТТП - мен бірлесіп бағалау оттегінің құрамын және ластаушы заттардың декомпозициясын анықтауға мүмкіндік береді [1,7]. Осылайша, жоғарыда аталған көрсеткіштермен бірге ТТП көрсеткішін бағалау, сондай-ақ олардың су сапасын бақылау үшін құрамдастыруы маңызды және қажет, өйткені олар көрсеткіштерді жан-жақты бағалауға және су сапасын бағалау моделін әзірлеу кезінде олардың арасындағы маңызды байланысты анықтауға мүмкіндік береді.

Көрсеткіштерді бақылау кезінде су сапасын бағалау моделін әзірлеу жасанды интеллект әдістерін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Жасанды интеллект әдістерін қолдану судың сапасын бағалау кезінде бақыланыатын объектінің сенімділігін арттыруға және болжамды моделін жасауға мүмкіндік беретіні белгілі. Ғылыми мәліметтерге сәйкес [2, 8] жасанды интеллект әдістерінің арасында су сапасын бағалаудың болжамды моделін жасау үшін сызықтық және сызықтық емес регрессия, сондай-ақ оларды эмпирикалық режимді декомпозициясыздандыру әдісімен біріктіру қолданылады. Қарастырып өткен әдістерді гибриді жүзеге асыру судың физикалық және химиялық көрсеткіштерінің байланысын сипаттайтын математикалық модельді жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, өлшенген көрсеткіштерді эмпирикалық модалық декомпозициясыздандыру (ЭМД) әдісі – өлшеу нәтижелерін ЭМД кезінде және бұл әдістің түрлі модификацияларын қолдану барысында Гибс эффектісін тудырады [16, 17]. Нәтижесінде жасанды интеллект әдісіне негізделген бағалау моделін жасау үдерісін қиындатады.

Қарастырылып отырған мақалада жасанды интеллект әдісі – сызықтық регрессия негізінде судың сапасын бағалау моделі ұсынылған. Бұл әдіс тиімді және талданатын деректерге жоғары сезімталдықпен ерекшеленеді, ол әртүрлі бақылау объектілерінен үлгілерді арнайы машиналық оқытуды қажет етпейді [18, 19]. Осылайша, қарастырылып отырған мақаланың мақсаты – судың сапасы мен жиынтық көрсеткіштердің байланысын болжайтын регрессия моделін жасау болып табылады. Қарастырылып отырған мақала алдыңғы жариялымнан [20] ерекшелігі – ол судың сапа көрсеткіштеріне күз және көктем айларындағы температуралық факторлық әсерлері сызықтық регрессия әдісінің негізінде көрсетілген.

Материалдар мен тәсілдер.

Мақаланың қарастырылып отырған бөлімінде судың сапасын анықтайтын көрсеткіштерді бірлесіп бағалау үшін ATmega2560 микроконтроллер платформасында температураны, формазин бойынша лайлылықты, қышқылдықты, кондуктивтілігін және судың тотығу-тотықсыздану потенциалын бірлесіп өлшеуді жүзеге асыратын өлшеу жүйесінің аппараттық бөлігі әзірленіп және өлшенген деректерді Vlynk арнайы мобильді қосымшасына бұлттық сервис арқылы IoT-құрылғыларымен Wi-Fi арқылы сымсыз беруді қамтамасыз етеді. Жоғарыда аталып өткен ATmega2560 микроконтроллері аналитикалық әдістерді қолдана отырып бес датчикпен судың біріктірілген көрсеткіштерін өлшеуге таңдалған себебі келесідей:

1) Кірістер мен шығыстардың үлкен саны: 54 сандық кіріс/шығыс нүктелері бар, оның 15-і PWM шығысы және 16 аналогтық кіріс ретінде пайдаланылуы мүмкін. Бұл оны қосылымдардың көп санын қажет ететін жобаларға қолайлы етеді.

2) Үлкен жад сыйымдылығы: Кірістірілген 256 КБ флэш-жадысы күрделі және үлкен бағдарламаларды жүктеуге мүмкіндік береді. 8 КБ және 4 КБ деректерді сақтау және операциялық жұмыс үшін кең орын береді.

3) Жоғары өнімділігі: ATmega2560 жүйесінде қолданылатын микроконтроллері 16 МГц жиілікте жұмыс істейді, бұл көптеген жобалар үшін жеткілікті өнімділікті қамтамасыз етеді.

4) Әртүрлі модульдермен және сенсорлармен үйлесімді: Стандартты қосқыштар мен көптеген кітапханалар жиынтығының арқасында бұл микроконтроллер әртүрлі сенсорлармен, модульдермен және кеңейтімдермен оңай біріктіріледі.

5) Түрлі перифериялық құрылғыларды қосудағы икемділік: арнайы UART, SPI және I2C интерфейстерін қоса алғанда, көптеген қолдау көрсетілетін интерфейстер әртүрлі перифериялық құрылғыларды ыңғайлы қосуға мүмкіндік береді.

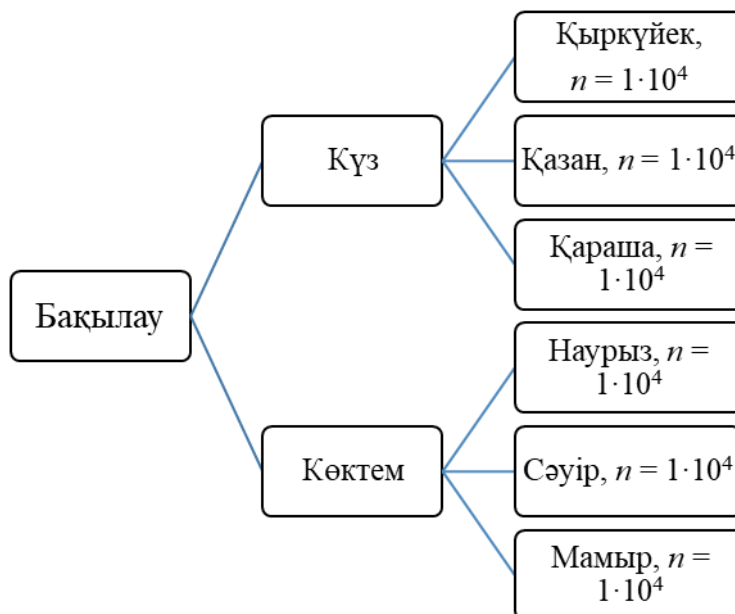
Жоғарыда көрсетіліп өткен микроконтроллердің ерекшеліктері судың біріктірілген өлшеу деректерін жинауға және ол мәліметтерді арнайы сымсыз модульдердің көмегімен қашықтықтан жіберуге қолдануға кеңінен мүмкіндік береді. Бұл соңғы ғылыми жарияланымдармен дәлелденеді [1,2,7,9,12,14,15].

Біріктірілген су сапасын анықтайтын көрсеткіштерінің деректерін жинау және Wi-Fi арқылы қашықтықтан беру үшін өлшеу жүйесін әзірлеу нәтижесі 1-суретте көрсетілген.



1 сурет – Біріктірілген өлшеу деректерін жинауға және беруге арналған жүйе

Жоғарыда көрсетілген 1-ші суретте келтірілген өлшеу жүйесі белгілі аналогтардан айырмашылығы әртүрлі басқару объектілерінен судың бес көрсеткішін біріктіріп өлшеуге мүмкіндік береді. Жасалған өлшеу жүйесінің негізінде судың біріктірілген көрсеткіштерін өлшеу Алматы қаласының аумағындағы Алмалы өзенінің акваториясындағы күз және көктем айларында бақылау жүргізілді. Осы жыл мезгілдерінде судың көрсеткіштерін бақылау дизайны төменде көрсетілген 2-ші суреттегідей.



2 сурет – Күз және көктем айларындағы судың көрсеткіштерін бақылаудың дизайні

Қарастырылып отырған мақалада жоғарыда 2-ші суретте көрсетілгендей күз айларындағы бірінші бақылау 1 қыркүйектен 30 қыркүйекке дейін, екінші бақылау 1 қазаннан 31 қазанға дейін, ал үшінші бақылау 1 қарашадан 30 қарашаға дейін жүргізілді. Көктем айларындағы бірінші бақылау 1 наурыздан 31 наурызға дейін, екінші бақылау 1 сәуірден 30 сәуірге дейін, ал үшінші бақылау 1 мамырдан 31 мамыр аралығында жүргізілді. Жоғарыда атап өткен судың бес көрсеткіштерінің әрқайсысының өлшеулер саны $n = 10000$ -нан асады және де бір-біріне ұқсамайтын айырмашылықтардан тұрады. Осылайша қалыптасқан біріктірілген өлшемдер жиынтығы математикалық модельді жасауға негізделеді.

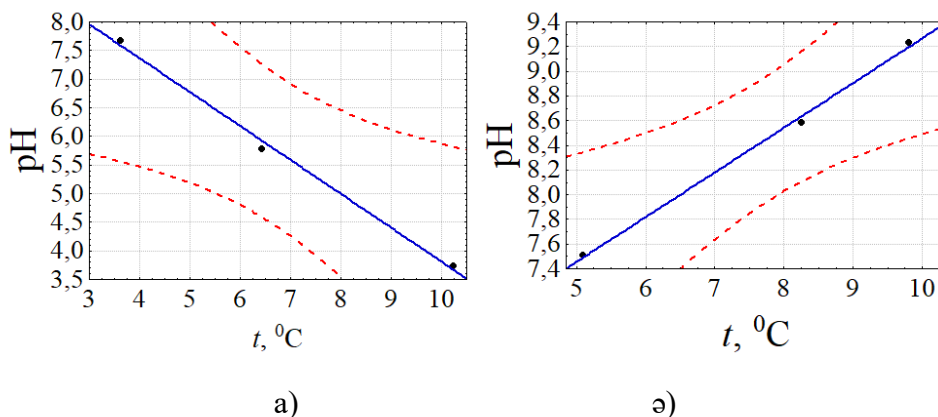
Регрессиялық модельді әзірлеу барысында заттар мен материалдардың қасиеттерінің өзгеру процесінің ең сезімтал және болжамды көрсеткіші болып өлшеу нәтижесінің орташа мәні болып табылатыны белгілі. Осыған байланысты қарастырылып отырған мақалада су сапасын бағалаудың сызықтық регрессиялық моделін жасау үшін $n = 10000$ -нан астам өлшемдерден тұратын нәтижелердің орташа мәнін есептеу және бағалау негізделген. Регрессиялық модельді әзірлеу нәтижесі қарастырылып отырған мақаланың келесі бөлімінде ұсынылған.

Нәтижелер мен талқылау.

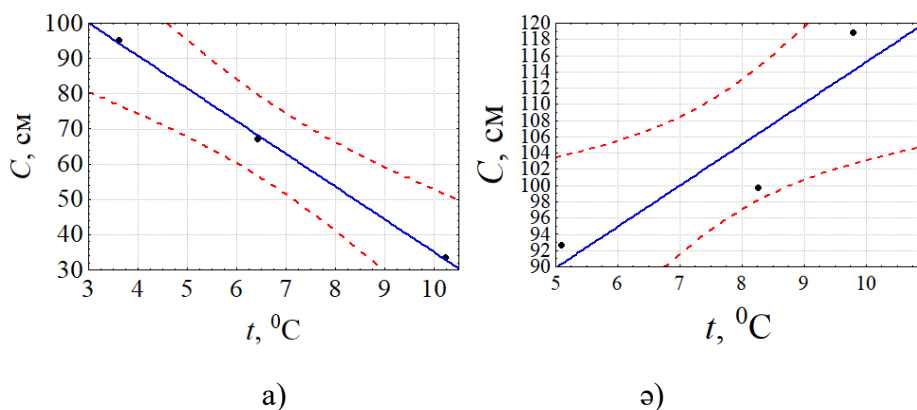
Регрессиялық талдау кезінде су сапасын бағалау моделі біріктірілген көрсеткіштерді өлшеу нәтижелеріне байланысты сызықтық, сызықтық емес және логистикалық талдауға бөлінеді [8]. Аталған талдау әдістері сандық сипаттауға болатын белгілі бір сенімділік дәрежесі бар су сапасын бағалау моделін жасауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес [18,19], берілген талдаудағы модельдің сенімділігі R^2 детерминация коэффициенті, p -value маңыздылық деңгейі және r – корреляция коэффициенті арқылы бақыланып және болжанатын шамалар арасындағы байланыс арқылы сипатталады.

Есептеу нәтижелері күз және көктем айларының көрсеткіштердің орташа мәні судың сапасына байланысты сызықты түрде өсетінін және төмендейтінін көрсетті. Алынған нәтиже регрессиялық тәуелділікті құру және ең кіші квадраттар әдісі арқылы бірлескен көрсеткіштердің байланысын бағалау мақсатында сызықтық регрессияны таңдауды негіздеуге мүмкіндік береді. Төменде келтірілген 3 – 6 суреттерде судың

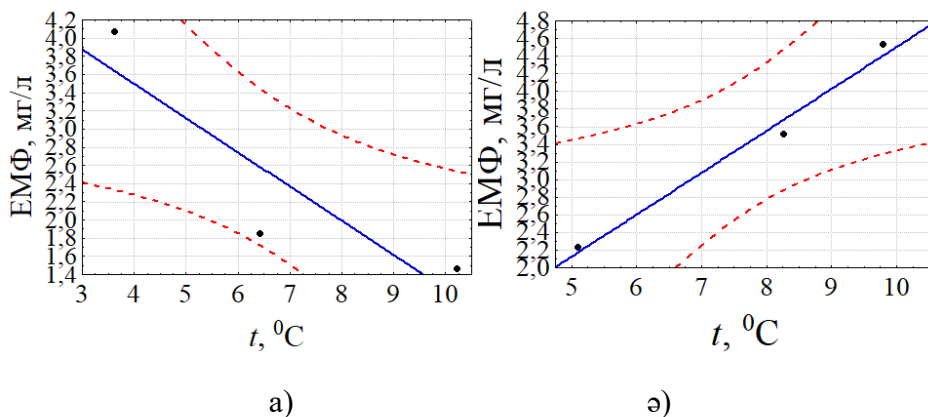
сапасының көрсеткіштерінің регрессиялық тәуелділігінің нәтижелері скатерограмма негізінде келтірілген.



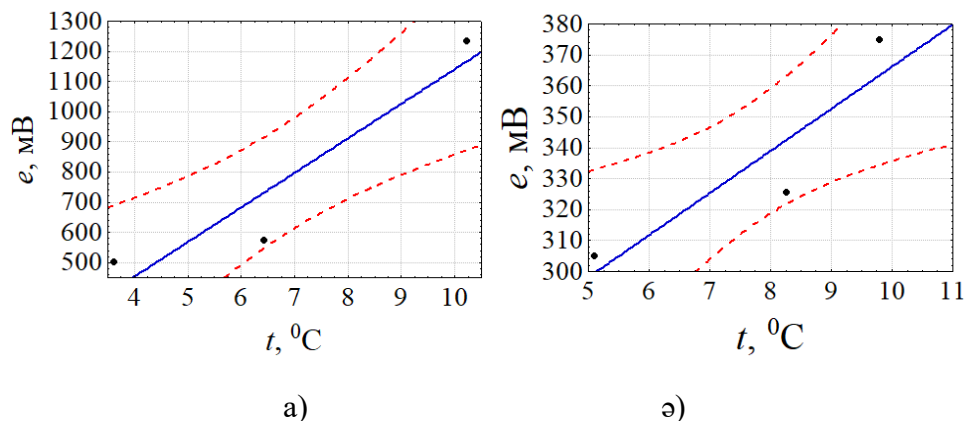
3 сурет – Температураның қышқылдыққа әсерін сипаттайтын тәуелділік: а) күз айлары бойынша ә) көктем айлары бойынша



4 сурет – Температураның кондуктивтілікке әсерін сипаттайтын тәуелділік: а) күз айлары бойынша ә) көктем айлары бойынша



5 сурет – Температураның лайлануға әсерін сипаттайтын тәуелділік: а) күз айлары бойынша ә) көктем айлары бойынша



6 сурет – Температурамен ТТП-ның әсерін сипаттайтын тәуелділік: а) күз айлары бойынша ә) көктем айлары бойынша

Жоғарыда келтірілген 3 – 6 суреттердегі тәуелділіктің ұсынылған нәтижелерінен судың талданатын сынамаларында температураның жоғарылауына байланысты судың қышқылдығы, кондуктивтілігі және формазин бойынша лайлану көрсеткіштерінің мәні төмендейді, сондықтан бақылау мезгіліне байланысты судың ТТП мәні артады. Талданып жатқан судың сынамаларының қышқылдық, кондуктивтілік, формазин бойынша лайлылық және ТТП көрсеткіштеріне болжаушының – температураның әсерін сипаттайтын моделі сызықтық регрессия теңдеуімен және R^2 анықтау коэффициенттері мен r корреляциясымен, сондай-ақ p -модельдің маңыздылық деңгейі келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned} pN_{\text{күз}} &= -0,5922 \cdot t + 9,732 \quad R^2 = 0,995; \quad r = -0,997; \quad p = 0,0414 \quad (3\text{а} - \text{сурет}), \\ C_{\text{күз}} &= -9,283 \cdot t + 127,885 \quad R^2 = 0,998; \quad r = -0,999; \quad p = 0,022 \quad (4\text{а} - \text{сурет}), \\ \text{ФБЛ}_{\text{күз}} &= -0,376 \cdot t + 5,003 \quad R^2 = 0,791; \quad r = -0,889; \quad p = 0,302 \quad (5\text{а} - \text{сурет}), \\ e_{\text{күз}} &= 114,571 \cdot t + 4,678 \quad R^2 = 0,884; \quad r = 0,940; \quad p = 0,220 \quad (6\text{а} - \text{сурет}), \\ pN_{\text{көктем}} &= 0,3622 \cdot t + 5,6456; \quad R^2 = 0,9968; \quad r = 0,9984; \quad p = 0,0360 \quad (3\text{ә} - \text{сурет}), \\ C_{\text{көктем}} &= 5,064 \cdot t + 64,5691; \quad R^2 = 0,8063; \quad r = 0,8980; \quad p = 0,2901 \quad (4\text{ә} - \text{сурет}), \\ \text{ФБЛ}_{\text{көктем}} &= 0,4754 \cdot t + 0,2491; \quad R^2 = 0,9831; \quad r = 0,9915; \quad p = 0,0831 \quad (5\text{ә} - \text{сурет}), \\ e_{\text{көктем}} &= 13,6082 \cdot t + 230,1194; \quad R^2 = 0,8253; \quad r = 0,9085; \quad p = 0,2745 \quad (6\text{ә} - \text{сурет}), \end{aligned}$$

мұндағы R^2 – детерминация коэффициенті, r – корреляция коэффициенті, p -модельдің маңыздылық деңгейі.

Күз айы бойынша алынған регрессиялық талдау нәтижесінде талданатын су сынамаларының температурасы 1 градус Цельсий-ға артқан кезде су қышқылдығы 99,58%-ға, кондуктивтілік 99,87%-ға, формазин бойынша лайлану 79,10%-ға кемуін жәнеде ТТП көрсеткішін 88,49%-ға өсуін күтуге болады деп болжауға мүмкіндік береді. Осыған сәйкесінше көктемгі көрсеткіштер келесідей өседі: қышқылдық деңгейі 99,68%-ға, кондуктивтілік 80,63%-ға, формазин бойынша лайлану 98,31%-ға кемуін жәнеде ТТП көрсеткішін 82,53%-ға өсуін күтуге болады деп болжауға мүмкіндік береді. Белгіленген бірлескен сызықтық өзгеріске өте жақын және су температурасына төзімді. Күз және көктем айлары бойынша су сапасын анықтайтын регрессиялық модельді құру кезінде әсер ететін бөгде факторлардың үлесі – қышқылдық үшін – 0,42% және 0,32%, кондуктивтілік үшін – 0,13% және 19,37%, формазин бойынша лайлылық деңгейі үшін – 20,9% және 1,69%, ал ТТП бойынша – 11,51% және 17,47%-дан аспайды.

Карл Пирсонның әдісін қолдана отырып есептелінген корреляция коэффициентін түсіндіру үшін Чеддок шкаласын пайдалана отырып, өлшенген көрсеткіштер арасында

тікелей және жоғары корреляциялық байланыспен сипатталатынын атап өткен жөн. Бұл көрсеткіштер үшін $r > 0,7$ асқан кезде белгіленген корреляция су көрсеткіштерінің мәндерінің айырмашылығымен және көрсеткіштердің арасындағы кездейсоқ емес фундаменталды байланыс бар екенін түсіндіреді.

Ұсынылған регрессиялық модельдің R^2 детерминация коэффициентінің шамасы су сапасының көрсеткіштерін бақылау кезінде болжаушының бақыланатын дисперсиясын (осы зерттеудің фокусындағы көрсеткіш) түсіндіретінін ескеру маңызды. Алынған модель коэффициенттері p мәні, $p = 0,05$ -тен аз, демек, ықтималдылығы бар сенімділік интервалы үшін статистикалық маңызды болып $P=0,95$ үшін саналады. Сонымен қатар байланыстырушы біріктірілген су сапасының көрсеткіштері сенімділік интервалының ықтималдығымен суда болатын бақыланатын процестердің маңызды болжаушылары деп тануға болады. Қазіргі таңда су сапасын бағалау бойынша жинақталған эксперименттік материал су сынақтарының жай-күйіне болжамды талдау жүргізу үшін таңдалған көрсеткіштерді қолдану мүмкіндігін растайды [8].

Қорытынды.

Мақалада судың сапасы мен жиынтық көрсеткіштердің байланысын болжайтын регрессиялық тәуелділіктің математикалық моделін әзірлеу нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер бойынша судың температурасы жоғарылаған сайын корреляция коэффициенті $r = -0,889$ ден $r = -0,998$ -ге дейін қышқылдық, кондуктивтілік және формазин бойынша лайылық көрсеткіштерінің арасындағы болатын байланыстың төмендеу тенденциясы болатынын көрсетті. Сондай-ақ, күз және көктем айларында судың температурасы жоғарылаған сайын корреляция коэффициентінің аралығы $r_{\text{күз}}=0,940$ және $r_{\text{көктем}}=0,908$ бойынша ТТП көрсеткішінің мәні сәйкесінше жоғарылайды. Сондай-ақ, өлшенген нәтижелер су сапасын бағалау моделі үшін ең ықпалды болжаушылардың рөлі үшін бәсекелес болған шетелдік зерттеулердің нәтижелеріне сәйкес келеді.

Қаржыландыру. Қарастырылып отырған мақала Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды (BR24993051 IoT және деректерді талдау негізінде зияткерлік қала жүйесін дамыту).

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Tariq M. O. An Open Source Water Quality Measurement System for Remote Areas // Engineering Proceedings. 2021. № 1. P. 50. DOI: 10.3390/engproc2021012050.
- [2] Zhao Y. Retrieval of water quality parameters based on near-surface remote sensing and machine learning algorithm // Remote Sensing. 2022. №. 21. P. 5305. DOI: 10.3390/rs14215305.
- [3] Wood R. Implementation of the WHO core components of an infection prevention and control programme in two sub-saharan African acute health-care facilities: a mixed methods study // Antimicrobial Resistance and Infection Control. 2024. № 1. P. 4.
- [4] Mathur R. Modeling of two-stage anaerobic onsite wastewater sanitation system to predict effluent soluble chemical oxygen demand through machine learning // Scientific Reports. 2024. №. 1. P. 1835.
- [5] Wang Z. Research on water environmental indicators prediction method based on EEMD decomposition with CNN-BiLSTM // Scientific Reports. 2024. №. 1. P. 1676.
- [6] Shah M. I., Javed M. F., Abunama T. Proposed formulation of surface water quality and modelling using gene expression, machine learning, and regression techniques // Environmental Science and Pollution Research. 2021. №. 28. P. 13202-13220.

- [7] de Camargo E.T. Low-cost water quality sensors for IoT: A systematic review // *Sensors*. 2023. № 9. P. 4424.
- [8] Essamlali I., Nhaila H., El Khaili M. Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review // *Heliyon*. 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27920.
- [9] Fadel A. A., Shujaa M. I. Water Quality Monitoring System Based on IOT Platform // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. №. 3. P. 032054. DOI:10.1088/1757-899X/928/3/032054.
- [10] Bogdan R. Low-cost internet-of-things water-quality monitoring system for rural areas // *Sensors*. 2023. №. 8. P. 3919. DOI: 10.3390/s23083919.
- [11] Lakshmikantha V. IoT based smart water quality monitoring system // *Global Transitions Proceedings*. 2021. №. 2. P. 181-186.
- [12] Geetha S., Gouthami S. Internet of things enabled real time water quality monitoring system // *Smart Water*. 2016. №. 2. P. 1-19.
- [13] Shah M. I., Javed M. F., Abunama T. Proposed formulation of surface water quality and modelling using gene expression, machine learning, and regression techniques // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. №. 28. P. 13202-13220.
- [14] Chowdury M.S. IoT based real-time river water quality monitoring system // *Procedia computer science*. 2019. №. 155. P. 161-168. DOI:10.1016/j.procs.2019.08.025
- [15] Sabari M. Water quality monitoring system based on IoT // *2020 IEEE 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems*. 2020. P. 279-282.
- [16] Altay Y.A. Cascade Notch Filter with a Unity Feedback and Improved Transient Response // *V International Conference on Control in Technical Systems*. 2023. P. 217-220. DOI: 10.1109/CTS59431.2023.10288775
- [17] Y.A. Altay, A. S. Kremlev, "Signal-to-Noise Ratio and Mean Square Error Improving Algorithms Based on Newton Filters for Measurement ECG Data Processing," in *Proc. EIconRus*, 2021, paper 21.09.04, pp. 1590-1595. DOI: 10.1109/EIconRus51938.2021.9396391
- [18] Fedorov A.V., Altay Y.A., Stepanova K.A., Kuzivanov D.O. The effect of signal-to-noise-ratio value on the error in measuring acoustic emission parameters: statistical assessment. *Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics*, 2022, V. 22, pp. 1205-1215. doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-6-1205-1215.
- [19] Y.A. Altay, A.S. Kremlev, "On the use of the statistical methods for biomedical signals and data processing" in *Proc. EIconRus*, 2019, paper 19.04.03, pp. 1129-1134. DOI: 10.1109/EIconRus.2019.8656736.
- [20] Altai E.A., Bazarbai L. A model for assessing water quality based on AI: long-term observation data // *Collection of reports of the V International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies*. - 2024. pp. 132-135.

Lashin Bazarbay, master, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, lashyn_7754@mail.ru

Yeldos Altayuly, candidate of technical sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, y.altay@satbayev.university

Kassymbek Ozhikenov, candidate of technical sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, k.ozhikenov@satbayev.university

Mussa Turdalyuly, PhD, Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, m.turdalyuly@satbayev.university

Orken Mamyrbayev, PhD, professor, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, morkenj@mail.ru

MODEL FOR ASSESSING THE EFFECT OF TEMPERATURE ON WATER QUALITY INDICATORS

Abstract. The paper presents the results of the development of a water quality assessment model using the artificial intelligence method. The presented model is based on linear regression, which during the evaluation revealed statistically significant non-random relationship between the measured combined water quality indicators. The relationship between the co-measured indicators was visualized using scatterogram and approximated based on least squares method. Water temperature was found to be the most influential predictor on acidity, conductivity, turbidity and redox potential among the measured indicators. The established significant and non-random interrelation of the indicators is mainly associated with the influence of temperature on the physical processes occurring during the rise and fall of river water temperature depending on the time of observation. The developed mathematical model most fully characterizes the influence of temperature on the assessed indicators, the performance of which is confirmed by calculating the correlation coefficient based on the Pearson method and the coefficients of determination and reliability of the model. The regression model can be used in the development of new or improvement of already known devices and systems to improve the reliability and efficiency of water quality control.

Keywords. Water quality control; artificial intelligence; linear regression; temperature; acidity; turbidity; conductivity.

Лашин Базарбай, магистр, Satbayev University, Алматы, Казахстан, lashyn_7754@mail.ru

Ельдос Алтайұлы, к.т.н., Satbayev University, Алматы, Казахстан, y.altay@satbayev.university

Касымбек Ожикенов, к.т.н., Satbayev University, Алматы, Казахстан, k.ozhikenov@satbayev.university

Мұса Тұрдалыұлы, PhD, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, m.turdalyuly@satbayev.university

Оркен Мамырбаев, PhD, профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, morkenj@mail.ru

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Аннотация. В статье представлены результаты разработки модели оценки качества воды с использованием метода искусственного интеллекта. Представленная модель основана на линейной регрессии, которая при оценке выявила статистически значимую неслучайную взаимосвязь между измеренными совмещенными показателями качества воды. Взаимосвязь совмещенных показателей визуализирована при помощи скатерограммы и аппроксимирована на основе метода наименьших квадратов. Выявлено, что среди измеренных показателей наиболее влиятельным предиктором на кислотность, проводимость, мутность и окислительно-восстановительный потенциал является температура воды. Установленная значимая и неслучайная взаимосвязь показателей в основном ассоциирована с влиянием температуры на физические процессы, происходящие при повышении и понижении температуры воды в зависимости от времени наблюдения. Разработанная математическая модель наиболее полно характеризует влияние температуры на оцениваемые показатели, работоспособность которой

подтверждена вычислением коэффициента корреляции на основе метода Пирсона и коэффициентов детерминации и надежности модели. Регрессионная модель может быть использована при разработке новых или усовершенствовании уже известных приборов и систем для повышения достоверности и результативности контроля качества воды.

Ключевые слова. Контроль качества воды; искусственный интеллект; линейная регрессия; температура; кислотность; мутность; кондуктивность.

Редакцияға түсті / Поступила в редакцию / Received 23.07.2024

Жариялауға қабылданды / Принята к публикации / Accepted 28.11.2024