



Leibniz-Zentrum für
Agrarlandschaftsforschung
(ZALF) e.V.



INTI
International
University & Colleges

**HERIOT
WATT**
UNIVERSITY
UK | DUBAI | MALAYSIA

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI (BUXORO TABIIY
RESURSLARNI BOSHQARISH INSTITUTI) (O‘ZBEKISTON),**

**BIRLASHGAN MILLATLAR TASHKILOTINING
“QISHLOQ XO‘JALIGI VA OZIQ OVQAT” TASHKILOTI (FAO),**

GUMBOLT NOMIDAGI BERLIN UNIVERSITETI (GERMANIYA),

PRESOV UNIVERSITETI (SLOVAKIYA),

VALENSIYA POLITEXNIKA UNIVERSITETI (ISPANIYA),

**ZALF AGROTEXNOLOGIYALAR ILMIY TADQIQOT MARKAZI
(GERMANIYA),**

INTI XALQARO UNIVERSITETI (MALAYZIYA),

HERRIOT WATT UNIVERSITETI (MALAYZIYA)

**“YASHIL ENERGETIKA VA UNING QISHLOQ VA SUV XO‘JALIGIDAGI
O‘RNI” MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY VA ILMIY-TEXNIKAVIY
ANJUMANI**

MATERIALLAR TO‘PLAMI

29-30-aprel, 2025-yil

ISSN: 978-9910-10-082-6
UO‘K 556.182:551.5(08)
BBK 26.222+26.236
«DURDONA» Nashriyoti

“Yashil energetika va uning qishloq va suv xo‘jaligidagi o‘rni” mavzusidagi xalqaro ilmiy va ilmiy-texnikaviy anjumani materiallar to‘plami (2025-yil 29-30-aprel) -B.: Buxoro davlat texnika universiteti (Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti), 2025.

TAHRIR HAY’ATI RAISI:
Imomov Shavkat Jaxonovich –“TIQXMMI” MTU Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti rektori, texnika fanlari doktori, professor.
BOSH MUHARRIR:
Jo‘rayev Fazliddin O‘rinovich –“TIQXMMI” MTU Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo‘yicha prorektori, texnika fanlari doktori, professor.
MUHARRIR:
Axmedov Sharifboy Ro‘ziyevich –“TIQXMMI” MTU Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti “GTI va NS” kafedrasini mudiri, texnika fanlari nomzodi, professor v.b.
TAHRIRIYAT HAY’ATI A’ZOLARI:
Ibragimov Ilhom Ahrorovich -texnika fanlari doktori, dotsent
Jo‘rayev Umid Anvarovich -qishloq xo‘jaligi fanlari doktori, professor.
Rajabov Yarash Jabborovich -texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.
Laamarti Yuliya Aleksandrovna - sotsiologiya fanlari nomzodi, dotsent
Marasulov Abdirahim Mustafoevich - texnika fanlari doktori, professor.
Teshayev Muxsin Xudoyberdiyevich -fizika-matematika fanlari doktori, professor
Boltayev Zafar Ixtiyorovich - fizika-matematika fanlari doktori, professor
To‘xtayeva Habiba Toshevna -geografiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), v.b., professor.
Safarov Tolib Tojiyevich -tarix fanlari nomzodi, dotsent.
Boltayev San‘at Axmedovich -texnika fanlari nomzodi, dotsent.
Jamolov Farxod Norkulovich - texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.
Barnayeva Muniraxon Abduraufovna - texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.

To‘plamga kiritilgan tezislardagi ma’lumotlarning haqqoniyligi va iqtiboslarning tog‘riligiga mualliflar mas’uldir.

© Buxoro davlat texnika universiteti (Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti).
© Mualliflar
Elektron pochta manzili: buxtimi@mail.ru

tosh, shag'al, qum to'planib qoladi, ayrim yerlarda esa loyqa cho'kib yerning holati buziladi. Shuning uchun ham bunday yerlarda daryo suvlar oqimini rostlash uchun maxsus inshootlar (to'siqlar, suvni yo'naltirish suv tutqichlar, tosh tutqichlar va hokazo) barpo qilinadi.

Sug'oriladigan madaniy yaylovlar barpo qilishda barcha tadbirlarni ketma-ket, sifatli o'tkazish uchun dastlab loyiha tuziladi, keyin esa bu amalga oshiriladi.

Adabiyotlar

1. Axmedov S.R., Tuxtaeva X.T., Amanova, Z.U., Tursunov I.N., Hakimov SH., Rajabova M.M., Mirzayev S. (2023 yil, fevral). Hozirgi tabiiy sharoitda yer osti suv manbalarining yillik o'simliklarning o'sishiga ta'sirining ilmiy asoslari. IOP konferentsiyalari seriyasida: *Yer va atrof-muhit fanlari* (1138-jild, № 1, 012034-bet).
2. Shavkat E. S. (2024). MAHALLIY QORA KISHMISH UZUM NAVTINI ZAMONAVIY SUG'ORLASH. *SCIENCE AND INNOVATION IDEAS IN MODERN EDUCATION*, 2(5), 54-58.
3. Shavkat o'g'li, E. S., Sirojiddin o'g'li, S. J. (2023). TRANSITION TO MODERN WATER-SAVING IRRIGATION TECHNOLOGIES-THE NEED OF THE TIME. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 3(5), 332-339.
4. Shaxboz, E. (2023). ZAMONAVIY SUV TEJAMKOR SUGORISH TEXNOLOGIYALARIGA OTISH-ZAMON TALABI. *Uz-Conferences* (Vol. 1, No. 1, pp. 414-419).
5. Shaxboz, E., Firdavs, Z. (2023). YAYLOVLARDA LOKAL SUG 'ORISH TARMOQLARI HISOBI. *Uz-Conferences* (Vol. 1, No. 1, pp. 396-400).

UO'T: 628.16

SUVNING QATTIQLIGI VA PH KO'RSATKICHLARINI ARDUINO ASOSIDA REAL VAQT MONITORING QILISH TIZIMI

Ismailov Mirhalil Agzamovich

texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish professori, t.f.d, "TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, "texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish" kafedrası

E-mail: m.ismailov@tiame.uz

Abdunazarov G'olibjon G'ayrat o'g'li

magistrant, "TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, "texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish" kafedrası

E-mail: togarena54@gmail.com

Akbarov Salmon Shuxratjon o'g'li

magistrant, "tiqxmmi" milliy tadqiqot universiteti, "texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish" kafedrası

E-mail: salmonlearner34@gmail.com

Annotatsiya. Hozirgi sanoat rivojlanish davrida suv resurslaridan samarali foydalanish va ularning sifatini nazorat qilish dolzarb vazifalardan biridir. Ushbu tadqiqotda sanoat suvini kimyoviy tozalash jarayonida suvning qattiqligi va pH darajasini real vaqt rejimida kuzatib boruvchi Arduino mikrokontrolleriga asoslangan avtomatik tizim ishlab chiqildi. Maqsad – inson omili xatolarini kamaytirgan holda resurslardan oqilona foydalanishni optimallashtirishdir. Tizim apparat qismi sensorlar, mikrokontroller va real vaqt displey moduli kabi komponentlardan iborat, dasturiy qismi esa Arduino IDE muhitida yozilgan. Dastlab Fritzing simulyatsiyasi va laboratoriya sharoitida prototip sinovlari o'tkazildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan tizim suv qattiqligi va pH dagi o'zgarishlarni aniq qayd eta oladi: o'lchangan pH qiymatlarining laboratoriya qiymatlariga nisbatan farqi $\pm 0,2$ dan oshmadi, TDS (umumiy erigan modda) bo'yicha esa natijalar etalon qiymatlardan 5% ichida kuzatildi. Ushbu aniqlik suvni ishlov berish jarayonini yaxshiroq nazorat qilish va boshqarishga imkon beradi. Taklif etilayotgan tizim real vaqt

ma'lumotlariga asoslangan avtomatlashtirilgan boshqaruv orqali sanoatda suvdan barqaror foydalanishga hissa qo'shadi.

Kalit so'zlar: suv qattiqligi; pH monitoringi; Arduino; SCADA; kimyoviy tozalash

Annotation. In the current era of industrial development, the efficient use of water resources and the monitoring of their quality are among the most urgent tasks. In this study, an automatic system based on an Arduino microcontroller was developed to monitor water hardness and pH levels in real-time during the chemical treatment of industrial water. The main objective is to optimize the rational use of resources by minimizing human errors. The hardware part of the system consists of sensors, a microcontroller, and a real-time display module, while the software part was developed using the Arduino IDE environment. Initial simulations were carried out using Fritzing, followed by prototype testing under laboratory conditions. The results show that the developed system can accurately detect changes in water hardness and pH levels: the measured pH values differed from laboratory values by no more than ± 0.2 , and the TDS (Total Dissolved Solids) measurements remained within 5% of the reference values. This level of accuracy enables better control and management of the water treatment process. The proposed system contributes to sustainable water usage in the industry through automated control based on real-time data.

Keywords: water hardness; pH monitoring; Arduino; SCADA; chemical treatment.

Suv hayot va sanoat uchun eng muhim elementlardan biri bo'lib, Yer yuzasining uchdan ikki qismidan ko'prog'ini qoplaydi. Sanoat jarayonlarida suv hal qiluvchi, sovutuvchi, xomashyo va tashuvchi sifatida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Sanoat suvini tozalash jarayonining maqsadi – uskunalar va qurilmalarni shikastlovchi, jarayonlarga xalaqit beruvchi yoki atrof-muhitga zarar yetkazuvchi nojo'ya aralashmalarni olib tashlash yoki zararsiz holga keltirishdir. Sanoat suvini tozalashda muhim parametrlarning biri – suv qattiqligi, ya'ni suvda kaltsiy va magniy ionlarining mavjudligi. Suv qattiqligi me'yordan oshganda quvurlarda va jihozlarda cho'kma (tuzli qotlama) hosil bo'lib, tizim samaradorligini pasaytiradi. Yana bir muhim omil – suvning pH darajasi, chunki pH muhiti korroziya tezligi va reagentlarning reaksiyasiga bevosita ta'sir qiladi. An'anaviy suv tahlili usullari, odatda, qo'lda namuna olish va laboratoriyada tekshirishni o'z ichiga oladi. Bunday yondashuv ko'p vaqt talab etadi va inson omili sababli xatolarga moyil bo'lishi mumkin.

Mikrokontrollerlar va real vaqt sensor tizimlarining rivojlanishi suv sifatini uzluksiz kuzatishda yangi imkoniyatlar yaratmoqda. Arduino platformasi arzon va moslashuvchan bo'lib, suv sifatini uzluksiz (onlayn) monitoring qilish uchun qulay vosita hisoblanadi. Bunday tizimlarni SCADA (Dispatcherlik boshqaruvi va ma'lumotlarni yig'ish) yoki maxsus displeylar bilan integratsiyalash orqali tezkor fikr-mulohaza (feedback) olish va ma'lumotlarni doimiy yozib borish mumkin bo'ladi. Natijada, operatorlar suv sifatidagi o'zgarishlarga darhol munosabat bildirish imkoniga ega bo'ladi.

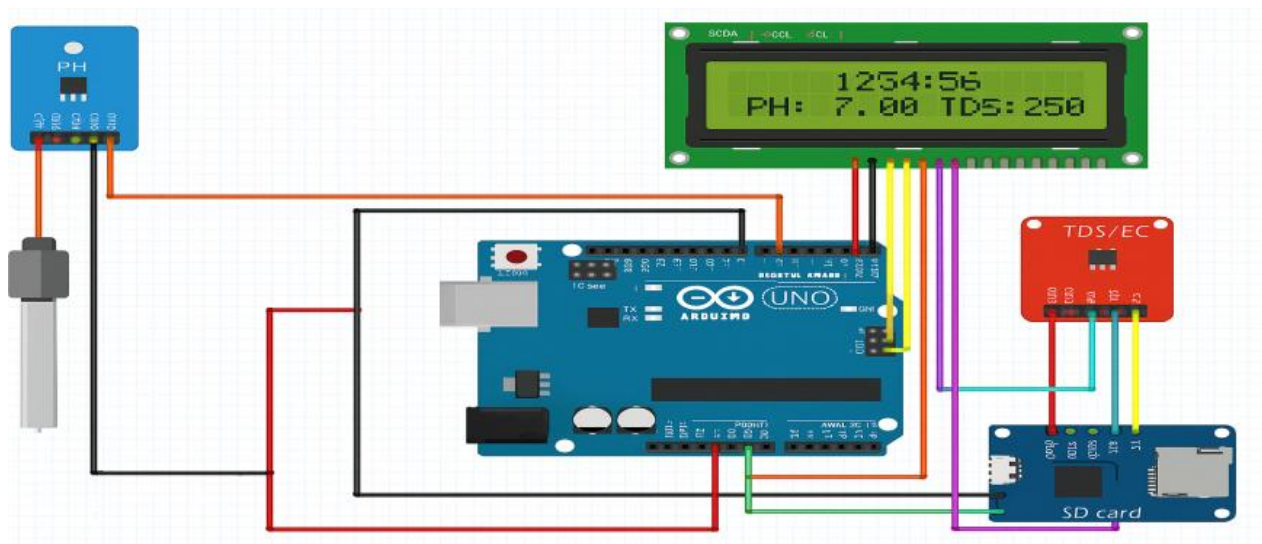
Hozirgi kunda ko'plab suv tozalash inshootlarida parametrlar davriy sinovlar orqali nazorat qilinadi, ya'ni uzluksiz monitoring yo'lga qo'yilmagani sababli ba'zi o'zgarishlar kech aniqlanadi. Shu ma'noda, avtomatlashtirilgan real vaqt kuzatuv tizimi jarayonni yaxshiroq boshqarish va resurslardan unumliroq foydalanishni ta'minlay oladi. Ushbu maqolada suvning qattiqligi va pH ko'rsatkichlarini Arduino asosidagi uskuna yordamida uzluksiz kuzatish tizimini loyihalash va amalga oshirish bayoni keltiriladi. Taklif etilayotgan tizim suv sifatini aniq va uzluksiz o'lchab borishni hamda sanoat boshqaruv tizimlariga uzviy integratsiyalashni maqsad qilgan. Maqola tuzilishi quyidagicha: dastlab mavzu bo'yicha avvalgi ishlanmalar tahlil qilinadi, so'ngra ishlab chiqilgan tizim metodologiyasi va konstruksiyasi tavsiflanadi, natijalar va muhokamalar keltirilib, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar bilan yakunlanadi.

Suvni tozalash jarayonlarini avtomatlashtirish yuzasidan ko'plab ilmiy ishlar olib borilgan [1][2]. Masalan, Turobjonov va boshq. (2010) hamda Buriyev va boshq. (2014) tomonidan sanoat oqova suvlarini tozalash texnologiyalari bo'yicha asosiy yechimlar taqdim etilib, ayniqsa qattiqlik keltiruvchi ionlarni samarali bartaraf etish zarurligi ta'kidlangan [1][2]. Musayev (2011) o'z tadqiqotida sanoat chiqindi suvlarini kimyoviy tozalash texnologiyalarini tahlil qilgan bo'lib, uskunalarni himoya qilish va atrof-muhitni muhofaza etish maqsadida ishlov berish jarayonlarini optimallashtirish muhimligini qayd etgan [3].

So‘nggi yillarda suv resurslarini barqaror boshqarishda ilg‘or sensorlar va tarmoqqa ulangan tizimlardan foydalanishga oid izlanishlar yangi bosqichga chiqdi. Ko‘plab zamonaviy tadqiqotlar uzluksiz avtomatik monitoring tizimlarining ahamiyatini ta’kidlaydi. Masalan, Boshqa bir 2023-yilgi tadqiqotda arzon Arduino asosidagi ko‘p parametrlil (pH, harorat, loyqalilik, TDS) sensor tarmog‘i taklif qilinib, suv ifloslanishini erta aniqlash imkoni yaratildi (mahalliy displey va markaziy ma’lumot yig‘ish tugunlari orqali) – bu usulda suv sifati me’yoriy chegaradan chetlaganda ogohlantirishlar avtomatik beriladi. Shuningdek, suv sifatini uzluksiz kuzatish uchun IoT va SCADA integratsiyasiga asoslangan aqlli boshqaruv tizimlari ham ishlab chiqilmoqda [5][6]. Misol uchun, Dwarakanath va boshq. (2023) IoT va SCADA yordamida suvni tozalash jarayonini masofadan nazorat qilish hamda boshqarishga mo‘ljallangan tizimni namoyish qilgan, bunda real vaqt sensor ma’lumotlari asosida ishlov berish moslamalari avtomatik tartibga solinadi [6]. El-Shafeiy va boshq. (2023) tadqiqotida esa suv sifati sensorlari ma’lumotlarini ko‘p o‘lchovli chuqur o‘rganish (deep learning) modellari orqali tahlil qilib, monitoringda paydo bo‘ladigan anomaliyalarni real vaqt rejimida aniqlash usuli taklif etilgan [5]. Shu kabi zamonaviy ishlanmalar shuni ko‘rsatadiki, arzon va ochiq kodli (open-source) apparat platformalari (masalan, Arduino) va turli elektron modullar yordamida real vaqt rejimida ishlovchi moslashuvchan monitoring tizimlarini loyihalash imkoni mavjud. Bu tizimlar doimiy ma’lumot uzatish orqali suv sifatidagi o‘zgarishlarni darhol qayd etib, jarayonni nozik boshqarish imkonini beradi. Ilgari taklif qilingan ayrim avtomatik nazorat uskunalari (masalan, yakka parametri uchun alohida pH yoki elektr o‘tkazuvchanlik regulatorlari) doimiy ma’lumot uzatish va qayta aloqa imkoniyatiga ega bo‘lmagani sababli jarayonni optimallashtirishda to‘liq samara bermagan. Membranali filtratsiya (masalan, teskari osmos) yoki ion almashinuv kabi texnologiyalar suvni yumshatishda keng qo‘llanilsada, ularni ortiqcha yoki yetarlicha ishlatmay qo‘yish kabi xatolardan saqlanish uchun jarayonni real vaqt ma’lumotlari bilan boshqarish talab etiladi. Xulosa qilib aytganda, mikroprotsessorli doimiy monitoring tizimlarini joriy etish suvni tozalash jarayonlarini sezilarli darajada takomillashtirishi mumkinligi ilmiy adabiyotlarda qayd etilmoqda. Bizning ishimiz ana shu ilmiy asos va ilgari olingan natijalarga tayangan holda, Arduino platformasida yaratilgan sensorli tizimni to‘g‘ridan-to‘g‘ri suv tozalash jarayoniga integratsiya qilish va sanoatda suv sifatini avtomatik boshqarish rivojiga hissa qo‘shishni maqsad qildi.

Metodologiya. Tizim sharhi: Ishlab chiqilgan Arduino asosidagi monitoring tizimi suvning qattiqligi va pH ko‘rsatkichlarini uzluksiz (real vaqt) o‘lchab boradi hamda ushbu ma’lumotlarni displeyda ko‘rsatib, xotirada (SD kartada) saqlaydi. Tizim barqaror ishlashi uchun apparat va dasturiy ta’minot komponentlari o‘zaro integratsiya qilingan.

Apparat qismi: Asosiy qurilma sifatida Arduino Uno mikrokontroller platasi tanlandi. Suvning pH darajasini o‘lchash uchun analog pH sensori (elektrod zondi va signal kuchaytirgich modulidan iborat), suv qattiqligini taxminiy baholash uchun esa TDS/elektr o‘tkazuvchanlik sensori (umumiy erigan modda miqdorini – Total Dissolved Solids – o‘lchovchi) ishlatildi. O‘lchangan qiymatlarni joyida kuzatish uchun 16×2 LCD displey (PC interfeysli) ulanib, real vaqt rejimida pH va TDS qiymatlari ko‘rsatiladi. Tarixiy ma’lumotlarni saqlash maqsadida SD-karta moduli qo‘shilib, o‘lchov natijalari faylga yozib borildi. Tizimning barcha komponentlari barqaror 5V quvvat manbaiga va umumiy “massa” (yer) kontaktiga ulangan holda ishlaydi – bu elektr shovqinlarni kamaytirib, o‘lchovlarning ishonchligini oshiradi. Fritzing dasturiy platformasi yordamida butun sxema avval dastlabki bosqichda modellashtirildi va montaj qilindi.



1-RASM. Arduino mikrokontrolleri asosida ishlab chiqilgan suv qattiqligi va pH ni kuzatish tizimining elektr sxemasi.

Ushbu sxemada Arduino Uno platasi pH sensori va TDS sensori bilan analog kirish pinlari (A0, A1) orqali bog‘langan va ularning signallarini o‘qib ishlov beradi. O‘lchangan pH va TDS qiymatlari I²C interfeysiga ega 16×2 LCD displeyda real vaqt rejimida aks ettiriladi. Shuningdek, Arduino platasi SPI interfeysi orqali ulanadigan SD-karta moduliga ham ega bo‘lib, bunda har bir o‘lchov natijasi sana-vaqt tamg‘asi bilan xotira fayliga yozib boriladi. Barcha qurilmalar 5V quvvat manbai va umumiy massasiga ulangan – bu esa tizimning ishonchli va barqaror ishlashini ta‘minlaydi.

Dasturiy qismi: Arduino mikrokontrolleri uchun dastur C/C++ tilida, Arduino IDE muhitida yozildi. Dastur ishga tushganda sensorlar uchun tegishli analog pinlar va LCD displey inicializatsiya qilinadi.



Natijalar va tadqiqotlar. Yaratilgan tizim montaj qilinib, dasturiy ta‘minot yuklangach, uning ishlashini sinash maqsadida turli pH va qattiqlikdagi suv namunalarida tajribaviy test o‘lchovlari o‘tkazildi. Arduino tizimi o‘lchov natijalarini ishonchliligini tekshirish uchun har bir namuna bo‘yicha uning ko‘rsatkichlari standart laboratoriya uskunalar yordamida o‘lchangan qiymatlar bilan taqqoslandi. Jumladan, 1-jadval bir necha suv namunalari uchun o‘lchangan va laboratoriyada aniqlangan pH qiymatlari hamda ular orasidagi farqni (nisbiy xato foizda) keltiradi. Xuddi shuningdek, namunalarning qattiqlik darajasi (TDS) ham laboratoriya aniqlagan qiymatlar bilan solishtirildi va har bir holatda mosligi kuzatildi.

1-jadval. Arduino tizimi tomonidan o‘lchangan pH qiymatlarini laboratoriya pH ko‘rsatkichlari bilan taqqoslash. Xato (%) laboratoriya qiymatiga nisbatan farqni bildiradi.

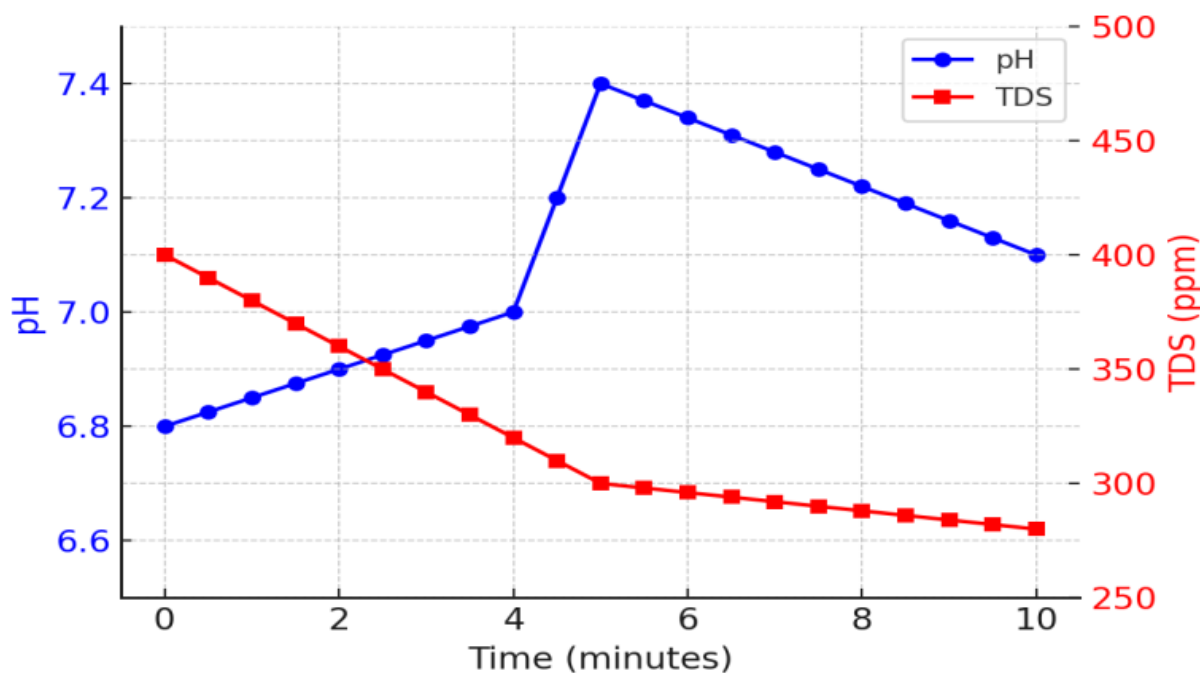
Namuna	Arduino pH	Lab pH	Xato (%)
1	7.10	7.20	1.4%
2	6.80	6.90	1.4%
3	7.40	7.50	1.3%
4	6.50	6.45	0.8%

Yuqoridagi jadval ma‘lumotlariga ko‘ra, Arduino asosidagi tizim pH o‘lchovlari laboratoriya qiymatlariga juda yaqin chiqdi. Sinovlarda eng katta og‘ish atigi 0,1 pH birlikni tashkil qildi (taxminan 1–1,5% nisbiy xato), bu sanoat suvini nazorat qilish amaliyoti uchun juda yaxshi natija

hisoblanadi. Chunki suv tozalash jarayonida pH odatda o'n ulushlarining katta ahamiyati yo'q, balki to'liq birliklarga teng o'zgarishlar muhim sanaladi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, to'g'ri kalibrlash orqali nisbatan arzon sensorlar yordamida ham laboratoriya uskunolari darajasiga yaqin aniqlikni qo'lga kiritish mumkin. Barcha namunalar uchun xato foizi juda kichik bo'lib, bu tizimga uzluksiz pH monitoringida ishonch bildirish mumkinligini tasdiqlaydi. Aniqlangan arziyas tafovutlar sensor kalibrlanishining vaqt o'tishi bilan biroz siljishi yoki Arduino ADC qisqacha razryadga ega ekanligi bilan izohlansa bo'ladi, biroq doimiy kalibrlash bunday tafovutlarni minimallashtiradi va $\pm 0,2$ pH aniqlik sanoat jarayonlari uchun me'yoriy talabga javob beradi.

Suv qattiqligini baholashda Arduino tizimi TDS sensor ko'rsatkichlaridan foydalanadi. TDS bo'yicha o'lchovlar ham laboratoriya sharoitida o'lchangan TDS (yoki elektr o'tkazuvchanlik) qiymatlari bilan solishtirildi. Natijada, Arduino tizimi tomonidan o'lchangan TDS qiymatlari laboratoriya jihozlari ko'rsatgan qiymatlardan taxminan $\pm 5\%$ ichida ekanligi ma'lum bo'ldi. Bu kutilgan hol, chunki qo'llanilgan TDS sensorining texnik pasportida $\pm 5\%$ aniqlik imkoniyati ko'rsatilgan edi (to'g'ri kalibrlash sharti bilan). Masalan, agar muayyan suv namunasi uchun laboratoriyada TDS 500 ppm ni tashkil qilgan bo'lsa, bizning tizim ushbu namuna uchun taxminan 475–525 ppm ko'rsatgan – bu sanoat amaliyotida qabul qilinadigan tafovutdir. Chunki qattiqlikka qarshi reagentlarni dozalashtirish odatda ancha yirik miqyosda (o'nlab ppm aniqlikda) amalga oshiriladi. Muhimi, tizim real vaqt rejimida uzluksiz ma'lumot uzatganligi sababli, ayrim bir o'lchov qiymatlarida biroz xato bo'lsa ham, umumiy trend yoki o'zgarish tendentsiyasini kuzatib borish va shunga muvofiq o'z vaqtida tuzatish kiritish imkoniyati mavjud.

Tajribalarning birida yaratilgan tizim yordamida suvga reagent qo'shish jarayoni kuzatildi. Quyida 2-rasmda bunday sinovlardan birida vaqt davomida suvning pH va TDS qiymatlarining o'zgarish tendentsiyasi ko'rsatilgan. Grafikda taxminan 4-daqiqada suvga suvni yumshatish maqsadida kimyoviy reagent (masalan, ishqoriy modda) qo'shilgan va tizimning unga reaksiyasi real vaqt rejimida qayd etilgan.



2-rasm. Suv namunasi ustida o'tkazilgan sinov davomida pH (ko'k chiziq, chap o'q bo'yicha) va TDS (qizil chiziq, o'ng o'q bo'yicha) ko'rsatkichlarining vaqtga bog'liq grafigi.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, 4–5-daqiqalar atrofida suvga reagent qo'shilgach, pH qiymati taxminan 6,8 dan 7,4 gacha tez oshdi va keyin 7,1 atrofida barqarorlashdi. Shu bilan birga, TDS darajasi esa bosqichma-bosqich kamayib bordi: dastlab taxminan 400 ppm bo'lgan umumiy erigan tuzlar miqdori sinov oxiriga kelib 320 ppm atrofisigacha pasaydi. Bunday teskari yo'nalishdagi o'zgarishlar kutilgan edi, chunki suvga kimyoviy reagent qo'shilishi muhitni ishqorlantirib pH ni

oshiradi, bir vaqtning o'zida qattqlikka sabab bo'ladigan ionlar (Ca^{2+} , Mg^{2+}) cho'ktirilishi hisobiga umumiy erigan modda miqdori kamayadi.

Tizimning o'lchov aniqligi yuqori ekanligi muhokamada alohida e'tiborga molik. Yuqoridagi grafikda ko'rish mumkinki, reagent qo'shilgach pH tez ko'tarilib, belgilangan me'yor atrofida barqaror tutildi va xavfli darajada ortib ketmadi. Demak, tizim orqali olingan ma'lumotlarga tayanib, pH qiymati me'yoriy diapazondan chiqib ketgan hollarda tez ogohlantirish berish yoki avtomatik chora ko'rish mumkin. pH grafigidagi mayda tebranishlar ($\pm 0,1$ atrofida) sensorning o'zi xatosi yoki suv aralashishidagi kichik tafovutlar bilan bog'liq bo'lishi mumkin, ammo bu tebranishlar umumiy tendentsiyani aniqlashga halaqit bermaydi. TDS grafigidagi silliq pasayish esa TDS sensorining barqaror ishlayotganini va suv tozalash jarayonining izchil davom etayotganini ko'rsatadi. Ba'zi boshqa sinovlarda TDS kamayish jadvali vaqtincha tekislanib qolgan paytlar ham kuzatildi – bu ion almashinish jarayoni muvozanat holatiga yaqinlashganda sodir bo'lishi mumkin. Doimiy monitoring rejimida bunday real vaqt ma'lumotlari asosida jarayonni nozik boshqarish (masalan, reagent qo'shishni sekinlatish yoki to'xtatish) imkoniyati yuzaga keladi.

Umuman olganda, olingan natijalar Arduino asosidagi tizim yordamida an'anaviy laboratoriya uskunolari darajasiga yaqin aniqlikda o'lchovlar amalga oshirish mumkinligini tasdiqlaydi. Bunday tizimning afzalligi – u zahoti ko'rsatkichlarning o'zgarishini qayd etadi va doimiy ravishda log (kundalik) ma'lumotlarni to'playdi. Bu esa nafaqat darhol choralar ko'rish, balki keyinchalik ma'lumotlarni tahlil qilish imkonini ham beradi. Misol uchun, yig'ilgan ma'lumotlar asosida sutkalik sikllarni o'rganish yoki suv sifatining qachon yomonlasha boshlaganini aniqlab, profilaktik chora ko'rish mumkin bo'ladi. Arzon datchiklar kalibrlanganda ishonchli ma'lumot berishi ayniqsa ahamiyatli xulosa hisoblanadi, chunki bu an'anaviy holda faqat qimmat analizatorlar bilan bajariladigan ishni oddiy va arzon elektron qurilmalar bilan amalga oshirish mumkinligini ko'rsatadi. Sanoat sharoitida shunday Arduino asosidagi bir nechta moslamani jarayonning turli nuqtalariga o'rnatish umumiy bir analizator o'rnatishdan ancha arzon tushadi, natijada butun tizim bo'ylab keng qamrovli kuzatuv tarmog'ini yaratish mumkin.

Albatta, tizimdan foydalanishda ba'zi cheklov va talablar mavjud. Masalan, pH sensori aniq o'lchashni saqlab qolishi uchun uni ma'lum davrda (masalan, haftada bir marta) standart eritmalar bilan qayta kalibrlash talab etiladi. Bizning laboratoriya sinovlarimizda har bir o'lchovlar seriyasidan avval kalibrlash bajarildi; agar tizim uzoq muddat uzluksiz ishlatilsa, elektrodning sezgirligi susayishi sababli agar kalibrlash vaqtida e'tibor berilmasa, xatolik oshib ketishi mumkin. Xuddi shunday, TDS sensorning aniqligi atrof-muhit haroratiga va datchik yuzasida cho'kma yig'ilishiga (ifloslanishiga) bog'liq bo'lishi mumkin. Real sharoitda sensorni vaqti-vaqti bilan tozalash va agar harorat sezilarli tebransa, avtomatik harorat kompensatsiyasini qo'shish lozim bo'ladi. Sinovlarni nazoratli laboratoriya muhitida o'tkazganimiz bois, umumiy holda tizim barqaror ishladi va suv sifatidagi asosiy o'zgarishlarni real vaqt rejimida ishonchli qayd etdi. Bu esa avtomatlashtirishning asosiy afzalligini yana bir bor ko'rsatadi: agar ilgari jarayon faqat vaqti-vaqti bilan olingan namuna natijasiga ko'ra tuzatilgan bo'lsa, endilikda operatorlar doimiy ma'lumot oqimiga qarab mayda o'zgarishlarga ham o'z vaqtida munosabat bildirishi mumkin bo'ladi.

Xulosa. Taklif etilgan Arduino mikrokontrolleriga asoslangan monitoring tizimi sanoat suvining qattqligi (TDS orqali) va pH ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida kuzatib borish uchun samarali yechim bo'la oladi. Loyiha doirasida arzon va ochiq arxitekturali komponentlar hamda dasturiy vositalardan foydalanilgan holda uzluksiz ishlovchi ishonchli qurilma yaratildi. Sinov va validatsiya natijalari shuni ko'rsatadiki, tizim o'lchovlari laboratoriya uskunolari ko'rsatkichlariga juda yaqin bo'lib, bu arzon datchiklarni to'g'ri kalibrlash orqali sanoat suvini monitoring qilish uchun zarur bo'lgan aniqlikka erishish mumkinligini isbotlaydi. pH va qattqlik haqidagi ma'lumotlarning darhol (onlayn) mavjudligi jarayondagi o'zgarishni sezish va tegishli chorani ko'rish orasidagi vaqtni qisqartiradi, bu esa boshqaruvning tezkorligini oshiradi. Natijada, resurslardan samarali foydalanish (reagentlarni optimallashtirilgan dozalash, chiqindini qisqartirish) ta'minlanadi va suv sifati me'yorlarini barqaror ushlab turish yengillashadi.

Foydalanilgan Adabiyotlar

1. Turobjonov, S., Tursunov, T., Pulatov, X. (2010). Oqava suvlarni tozalash texnologiyasi (Wastewater Treatment Technology). Musiqa nashriyoti, Toshkent.
2. Buriyev, E. S., & Yakubov, K. F. (2014). Oqava suvlarni oqizish tarmoqlari (Wastewater Discharge Networks). Cho'lpon nashriyoti, Toshkent.
3. Musayev, M. N. (2011). Sanoat chiqindilarini tozlash texnologiyasi (Industrial Waste Purification Technology). O'zbekiston Faylasuflari Milliy Jamiyati nashri, Toshkent.
4. Forhad, H. M., Uddin, M. R., Chakrovorty, R. S., et al. (2024). IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs). Heliyon, 10(23), e40746. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40746
5. El-Shafeiy, E., Alsabaan, M., Ibrahim, M. I., & Elwahsh, H. (2023). Real-Time Anomaly Detection for Water Quality Sensor Monitoring Based on Multivariate Deep Learning Technique. Sensors, 23(20), 8613. DOI: 10.3390/s23208613
6. Dwarakanath, B., Kalpana Devi, P., Anandan, R. K., et al. (2023). Smart IoT-based water treatment with a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system process. Journal of Water Reuse and Desalination, 13(3), 411–427. DOI: 10.2166/wrd.2023.052
7. Al-Ali, A. R., Zuolkernan, I. A., & Aloul, F. (2019). IoT-based water monitoring system. Sensors, 19(21), 4655.
8. Li, Y., Kumar, A., & Srivastava, S. (2021). Real-time monitoring of water parameters using embedded systems. IEEE Access, 9, 45342–45355.