YER OSTI SIZOT SUV KO‘RSATGICHLARINI SIMSIZ UZATISHGA IMKON BERUVCHI MONITORING QURILMASI

Memonova Gulrux Nazrikulovna[1], Isroilov Jamshid Dilshodovich[2]

[1]Qarshi davlat texnika universiteti,
[2]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU
E-mail1: memonovagulrux@gmail.com

K E Y W O R D S

sizot suv, pH ko‘rsatkichi, elektr o‘tkazuvchanlik; LoRa texnologiyasi

A B S T R A C T

Sizot suvlari resurslaridan oqilona foydalanish uchun ularning sathi, harorati va sifat ko‘rsatkichlarini uzluksiz nazorat qilish zarur bo‘lsa-da, mavjud monitoring vositalarining aksariyati faqat bitta ko‘rsatkichni o‘lchash bilan cheklangan bo‘lib, ma’lumotlarni markazga uzatish odatda qo‘lda yoki davriy tarzda amalga oshiriladi, bu esa sizot suvlari holatidagi o‘zgarishlarni o‘z vaqtida aniqlashga to‘sqinlik qiladi. Shu sababli sizot suvlarining bir nechta ko‘rsatkichini bir vaqtning o‘zida o‘lchab, ularni real vaqtda simsiz uzatuvchi yagona qurilma yaratish zarurati yuzaga keladi. Maqolada o‘lchov sensorlarini asoslash, ularni mikrokontroller asosidagi boshqaruv bloki va LoRa uzatish moduli bilan yagona tizimga birlashtirish hamda qurilmani kuzatuv quduqlarida sinovdan o‘tkazish bosqichlaridan iborat yondashuv qo‘llanildi. Natijada sathi, harorati, sho‘rlanganligi va minerallashganlik darajasini bir vaqtda aniqlab, monitoring markaziga simsiz uzatadigan qurilma modeli yaratildi va sinovda barcha ko‘rsatkichlarni real vaqtda o‘lchash, chegaraviy qiymatlar bilan solishtirish, uzatish imkoniyati tasdiqlandi. Mavjud ishlarda odatda bitta ko‘rsatkich o‘lchanishi yoki ma’lumot qo‘lda yig‘ilishidan farqli o‘laroq, taklif etilgan qurilma to‘rtta ko‘rsatkichni bitta simsiz tarmoq orqali uzatadi hamda quyosh paneli va akkumulyator hisobiga avtonom ishlashga moslashtirilgan. Ishlab chiqilgan qurilma infratuzilmasi rivojlanmagan hududlardagi kuzatuv quduqlarida qo‘lda o‘lchash zaruratini kamaytiradi hamda boshqa hudud va ob’ektlar monitoringida ham qo‘llanilishi mumkin.

KIRISH

Yer osti sizot suvlari zaxiralaridan barqaror foydalanish va ularni tuproq unumdorligiga zarar yetkazmasdan boshqarish sug‘oriladigan hududlarda, jumladan Qashqadaryo viloyati sharoitida, dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi, chunki sizot suvlar sathi va sifat ko‘rsatkichlaridagi o‘z vaqtida aniqlanmagan o‘zgarishlar yer yuzasining sho‘rlanishiga va meliorativ infratuzilmaga zarar yetkazishiga olib kelishi mumkin.

Hozirgi amaliyotda kuzatuv quduqlaridagi o‘lchovlar ko‘pincha davriy ravishda kuzatuv quduqlari orqali bevosida qo‘lda o‘tkaziladi yoki faqat bitta ko‘rsatkichni qayd etuvchi alohida-alohida qurilmalar bilan cheklanadi, natijada sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanligi kabi bir necha parametr bir vaqtning o‘zida va uzluksiz tarzda olinmaydi, bu esa suv holatidagi o‘zgarishlarni kech aniqlashga hamda monitoring uchun sarflanadigan mehnat va transport xarajatlarining ortishiga sabab bo‘ladi.

So‘nggi yillarda simsiz sensor tarmoqlari va IoT texnologiyalariga asoslangan bir qator yechimlar taklif etilgan bo‘lib, ular orasida arzon tannarxli ochiq manbali tarmoqlar [1], quyosh energiyasi hisobiga avtonom ishlaydigan qurilmalar [3] hamda LoRa texnologiyasiga asoslangan ko‘p sensorli platformalar [5], [6]

(cc) BY

alohida o‘rin tutadi; bunday ishlarda tarmoq infratuzilmasini yaratish va quvvat ta’minotini ta’minlash masalalari yaxshi yoritilgan.

Biroq ko‘rib chiqilgan ishlarning aksariyati bitta yoki ikkita ko‘rsatkichni o‘lchash bilan cheklangan bo‘lib, sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanlikni yagona qurilma tarkibida birlashtirib, ularni quyosh energiyasi hisobiga to‘liq avtonom tarzda va bitta simsiz kanal orqali uzatuvchi yechim yetarlicha ishlab chiqilmagan.

Ushbu maqolada yer osti sizot suvlarining sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlarini bir vaqtning o‘zida aniqlash hamda ularni simsiz aloqa kanali orqali monitoring markaziga uzatishga mo‘ljallangan qurilma modelini ishlab chiqish maqsad qilib olindi. Bu maqsadga erishish uchun har bir o‘lchov elementi alohida asoslanadi, ular mikrokontroller va simsiz uzatish moduli bilan yagona qurilmaga birlashtiriladi, qurilmaning quyosh moduli asosidagi avtonom quvvat ta’minoti tizimi ishlab chiqiladi hamda tayyor model kuzatuv qudug‘i sharoitida sinovdan o‘tkaziladi.

Tadqiqot ob’ekti sifatida Qashqadaryo viloyati sharoitidagi yer osti sizot suvlarini kuzatuv quduqlari, predmeti sifatida esa ushbu quduqlarda suv parametrlarini o‘lchash va simsiz uzatishga mo‘ljallangan monitoring qurilmasining tarkibiy tuzilishi va ishlash prinsiplari olindi.

Taklif etilayotgan qurilma mavjud ishlardan farqli o‘laroq, to‘rtta ko‘rsatkichni yagona tarkibda birlashtirib, ularni bitta simsiz kanal orqali uzatadi hamda quyosh moduli va akkumulyator hisobiga tashqi elektr tarmog‘iga bog‘liq bo‘lmagan holda uzoq muddat ishlashga moslashtirilgan bo‘lib, bu jihat infratuzilmasi rivojlanmagan hududlardagi kuzatuv quduqlarida ham qo‘llash imkonini beradi.

ASOSIY QISM

Dastlabki olib borgan tadqiqotlarida yer osti sizot suvlarini kuzatuv quduqlaridan LoRa va GSM texnologiyalari yordamida real vaqtda kuzatish imkonini beruvchi tizim ishlab chiqilgan[1]. Simsiz sensor tarmoqlarining umumiy arxitekturasi va atrof-muhitni kuzatishdagi qo‘llanilish sohalari bo‘yicha o‘tkazilgan tahliliy sharhda tarmoq topologiyalari, energiya boshqaruvi usullari va aloqa protokollari tasniflangan bo‘lib, muayyan tabiiy sharoit, masalan kuzatuv qudug‘i kabi tor va chuqur muhit uchun moslashtirilgan qurilma darajasidagi yechimlar alohida ko‘rib chiqilmagan [4]. Quruqlikdagi keng maydonni qamrab oluvchi, quyosh batareyasi bilan quvvatlanadigan daraxtsimon topologiyali tarmoqda harorat, namlik, gaz va yorug‘lik sensorlari birlashtirilib, 750 metrgacha aloqa masofasi va ikki soniyalik ma‘lumot uzatish sikli tajribada tasdiqlangan, biroq bu tuzilma suv ostiga cho‘ktiriladigan sensorlar bilan ishlashga mo‘ljallanmagan [3].

Simsiz sensor tarmoqlari sohasidagi yana bir tadqiqotida esa to‘liq yer osti sharoitida ishlashga mo‘ljallangan MoleNet qurilmasi mavjud bo‘lib, past quvvat sarfli mikrokontroller asosida qurilgan ushbu qurilma tuproq namligini kuzatish hamda yer osti aloqa kanallari orqali ma‘lumot uzatish imkoniyatini bersada u tuproq namligini nazorat qilishga mo‘ljallangan [12].

Sizot suvlari monitoringi yo‘nalishida esa alohida qurilma darajasidagi yechimlar ham taklif etilgan. Kaliforniyada joylashtirilgan tizimda ochiq manbali dasturiy ta‘minot va arzon uskunalar asosida qurilgan sensor tarmog‘i orqali suv sathini kuzatish imkoniyati yaratilib, bunday yechim tijorat telemetriya tizimlariga nisbatan uch-to‘rt barobar arzonligi ko‘rsatilgan, biroq faqat sath parametri bilan cheklangan [5]. Quyosh energiyasi bilan quvvatlanadigan va LoRa orqali ma‘lumot uzatuvchi avtonom qurilmada bosim sensorining yuqori chiziqliligi (R^2=0,9998) va 8 kilometrgacha aloqa masofasi tajribada tasdiqlangan bo‘lib, bu qurilma ham faqat sath ko‘rsatkichini o‘lchashga mo‘ljallangan [6]. Meksikaning qishloq hududida uch oy davomida sinovdan o‘tkazilgan arzon qurilma orqali piezometrik sath va harorat 15 daqiqalik intervalda uzatilib, qo‘lda o‘lchashga nisbatan 2 santimetrgacha aniqlik ta‘minlanganligi ko‘rsatilgan, biroq bu yerda ham faqat ikkita parametr, sath va harorat, qamrab olingan [7].

Suv sifatining kimyoviy ko‘rsatkichlarini ham qamrab oluvchi ko‘p sensorli qurilmalar bo‘yicha ham bir qator ishlar mavjud. Orollardagi suv taqchilligi sharoiti uchun ishlab chiqilgan tizimda TDS, harorat va pH sensorlari ESP32 asosidagi mikrokontrollerga va 868 MHz chastotali LoRa moduliga ulanib, sertifikatlangan asboblar bilan solishtirilganda haroratda yuqori

(cc) BY

korrelyatsiya, pH va TDS ko‘rsatkichlarida esa chiziqli tuzatish kiritilgach sezilarli yaxshilanish qayd etilgan [8]. Markazlashmagan suv tozalash tizimlari uchun taklif etilgan platformada pH, harorat, elektr o‘tkazuvchanlik, erigan kislorod va loyqalik sensorlari LoRaWAN moduli bilan birlashtirilib, to‘liq prototipning past tannarxga ega ekanligi, jumladan elektr o‘tkazuvchanlik sensorining ulushi umumiy tannarxning taxminan 9,5 foizini tashkil etishi keltirilgan, biroq mualliflarning o‘zlari bu yechimni hali dala sharoitida sinovdan o‘tkazilmagan boshlang‘ich namuna sifatida baholaydilar [9]. Indoneziyaning Troso daryosida ikki soatlik sinovdan o‘tkazilgan tizimda harorat, pH va TDS sensorlaridan olingan ma‘lumotlar navbati bilan 98,54, 96,85 va 98,10 foiz aniqlik bilan tasdiqlangan [10]. Ruminiyaning qishloq hududida besh xil suv manbaidan olingan namunalarni tekshirish uchun harorat, pH, TDS va loyqalik sensorlari mobil ilova bilan Bluetooth orqali bog‘langan tizimda barcha manbalarning pH ko‘rsatkichi ichimlik suvi me‘yoriga mos kelgani, biroq bitta manbada TDS darajasi ruxsat etilgan chegaradan oshgani aniqlangan, ammo bunday yechim qisqa masofali Bluetooth aloqasiga tayangani sababli uzoq masofadagi kuzatuv nuqtalari uchun mos emas [11]. Ko‘llar va suv omborlari uchun mo‘ljallangan ilk simsiz sensor tarmoq yechimlaridan birida integratsiyalashgan pH-harorat sensori ZigBee protokoli orqali ma‘lumot uzatib, natijalarning qo‘lda laboratoriya o‘lchovlariga mos kelishi ko‘rsatilgan, biroq tizim quvvat manbai sifatida quyosh energiyasidan foydalanmagan va faqat yer usti suv havzalari uchun mo‘ljallangan [2].

Keltirilgan ishlarni umumlashtirganda, sath va haroratni o‘lchovchi qurilmalarning aksariyati kimyoviy ko‘rsatkichlarni, pH va elektr o‘tkazuvchanlikni, qamrab olmaydi; ko‘p sensorli platformalar esa odatda quvvat ta‘minoti sifatida tashqi elektr tarmog‘iga, almashtiriladigan batareyaga yoki qisqa masofali aloqa protokoliga tayanadi, ba‘zilari esa hali dala sharoitida sinovdan o‘tmagan boshlang‘ich namuna bosqichida qoladi. Sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanligini bitta qurilma tarkibida birlashtirib, quyosh energiyasi hisobiga to‘liq avtonom tarzda va yer osti kuzatuv qudug‘i sharoitida uzoq masofali simsiz aloqa orqali uzoq muddat ishlaydigan yechim yetarlicha o‘rganilmagan bo‘lib, ushbu tadqiqotning predmetini tashkil etadi.

Yer osti sizot suvlari sathining ko‘tarilishi va bunga hamroh bo‘ladigan sho‘rlanish jarayoni sug‘oriladigan hududlarda tuproq unumdorligining pasayishiga va meliorativ infratuzilmaning shikastlanishiga olib kelishi mumkin, shu sababli bunday jarayonlarni erta bosqichda aniqlash uchun sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanligini uzluksiz kuzatib boruvchi qurilma zarur. Bunday qurilma kuzatuv qudug‘i ichida uzoq muddat mustaqil ishlashi, olingan ma‘lumotlarni simsiz kanal orqali monitoring markaziga real vaqtda yetkazishi hamda infratuzilmasi rivojlanmagan hududlarda ham tashqi elektr manbaidan mustaqil holda ishlay olishi zarur.

Taklif etilayotgan monitoring tizimi quyidagi asosiy qismlardan iborat: kuzatuv qudug‘i ichiga joylashtirilgan o‘lchov qurilmasi (mikrokontroller, to‘rtta sensor, LoRa uzatish moduli va displey); qurilma yonidagi metall tayanchga o‘rnatilgan quyosh moduli asosidagi avtonom quvvat ta‘minoti tizimi (kontroller, akkumulyator, invertor, boshqaruv tizimi); quyosh modulining yuzasini avtomatik changdan tozalovchi purkash tizimi (suv nasosi, uch bosqichli filtr, purkagichli quvur); Raspberry Pi asosidagi sensor signallarini qayta ishlash qurilmasi va displeydan iborat monitoring markazi.

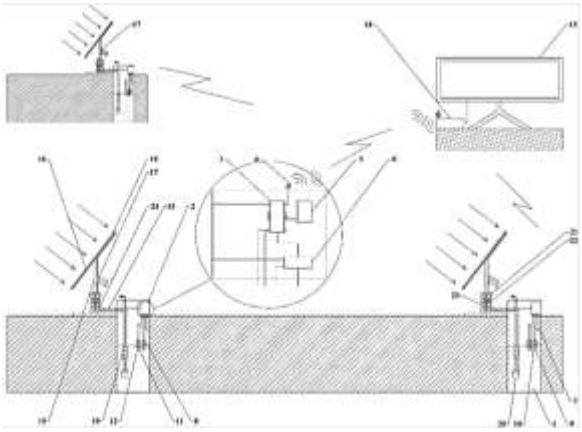
Kuzatuv quduqlari odatda bir-biridan bir necha yuz metr yoki undan ortiq masofada, ko‘pincha uyali aloqa qamrovi barqaror bo‘lmagan dala sharoitida joylashadi, shu sababli Wi-Fi yoki GSM/GPRS kabi texnologiyalarni ushbu vazifada qo‘llash amaliy jihatdan qiyin kichadi. Shu sababli qurilmada past quvvat sarfi bilan bir necha kilometrgacha aloqani ta‘minlovchi LoRa texnologiyasi qo‘llash maqsadga muoffiq bo‘ladi, ma‘lumotlar esa Raspberry Pi asosidagi qabul qiluvchi qurilma orqali monitoring markaziga yetkaziladi.

Har bir parametr uchun quyidagi o‘lchov elementlari tanlab olindi. Kuzatuv qudug‘idagi suv sathini uzluksiz nazorat qilish uchun PL315 moduli asosidagi suv sathi sensori qo‘llanildi. sensor suv yuzasida erkin suzib turuvchi, yopiq g‘ovakli polimer asosli suzuvchi elementga mahkamlangan bo‘lib, bu yechim sathning o‘zgarishiga qarab erkin harakatlanish va uzoq muddat suvga cho‘kib qolmasdan ishlashni ta‘minlaydi. Suv harorati datchigi xuddi shu suzuvchi element tarkibida joylashtirilgan bo‘lib, kabel orqali

(cc) BY

mikrokontrollerga ulangan. Suvning kislotalilik-ishqoriylik darajasini aniqlash uchun pH qiymati datchigi qo‘llanildi, u ham suzuvchi elementga mahkamlangan holda suv bilan doimiy aloqada bo‘ladi. Suvning tarkibidagi erigan tuzlar miqdorini bilvosita ifodalovchi elektr o‘tkazuvchanlik datchigi qurilmaning to‘rtinchi o‘lchov elementi sifatida kiritilgan. Barcha to‘rtta datchikdan olingan signallar kabel orqali mikrokontroller va suv sathi sensoriga uzatiladi, u yerda ma‘lumotlar to‘planadi va qayta ishlanadi.

Yig‘ilgan ma‘lumotlar mikrokontrollerdan displeyga (ko‘rsatish ekraniga) uzatilib, har bir datchikning joriy ko‘rsatkichi operatorga mahalliy tarzda ham ko‘rinib turadi, shu bilan birga LoRa moduli orqali monitoring markaziga jo‘natiladi (1-rasm). Markazda Raspberry Pi asosidagi qabul qiluvchi qurilma signalni qayta ishlaydi, har bir kuzatuv qudug‘idan kelgan ma‘lumotlarni umumlashtiradi va monitor orqali ko‘rsatib, xotirada saqlaydi.



1-rasm. Yer osti sizot suv ko‘rsatkichlarini simsiz uzatishga imkon beruvchi monitoring qurilmasining tarkibiy sxemasi

Qurilmaning barcha elektr jihozlari kuzatuv qudug‘i yonidagi metall tayanchga o‘rnatilgan quyosh moduli orqali quvvatlanadi. Elektr energiyasi kontroller, akkumulyator va invertordan iborat boshqaruv shiti orqali taqsimlanadi, bu esa qurilmaning tashqi tarmoqdan mustaqil holda uzluksiz ishlashini ta‘minlaydi. Quyosh modulining sirti vaqt o‘tishi bilan chang bilan qoplanib, uning samaradorligini pasaytirishi mumkinligini hisobga olib, tizimga avtomatik tozalash mexanizmi kiritilgan: uch bosqichli filtrdan o‘tkazilgan quduq suvi nasos yordamida modul yuzasi bo‘ylab yuqoridan pastga purkaladi, bu esa qo‘shimcha xarajatsiz, quduq suvining o‘zi hisobiga doimiy tozalikni ta‘minlaydi. Metall tayanchga, shuningdek, tungi vaqtda kuzatuv va xavfsizlik uchun yoritish chirog‘i ham o‘rnatilgan.(1-jadval)

Taklif etilgan qurilmani quyosh moduli orqali elektr toki bilan ta‘minlash tashqi elektr tarmog‘iga bo‘lgan ehtiyojni to‘liq bartaraf etadi. Masofaviy monitoring hisobiga joyga chiqib o‘lchash ishlari 70 foizga kamayadi, natijada mehnat va transport xarajatlari sezilarli darajada qisqaradi. Energiya tejamkor elektronika va quyosh moduli kombinatsiyasi qurilmaning uzluksiz ishlash muddatini 5–10 yilgacha yetkazadi, ekspluatatsiya xarajatlarini esa an‘anaviy tizimlarga nisbatan 2–3 barobar kamaytiradi. Sizot suvlarining ko‘tarilishi va sho‘rlanish jarayonlarini erta aniqlash orqali meliorativ va infratuzilma zararlarining 30 foizigacha oldi olinadi, bu esa qurilmaning dastlabki investitsiyasi 1–3 yil ichida o‘zini qoplashiga imkon yaratadi.

Qurilmani ishlab chiqishda talablarni aniqlashdan tortib sinovgacha bo‘lgan izchil bosqichlardan foydalanildi. Dastlab kuzatuv qudug‘i sharoitidagi cheklovlar — chuqurlik, aloqa masofasi, tashqi elektr manbaining yo‘qligi — hisobga olingan holda qurilmaga qo‘yiladigan talablar (nazorat qilinadigan parametrlar soni, ma‘lumot uzatish davriyligi, avtonom ishlash muddati) shakllantirildi. So‘ngra har bir talabga mos keluvchi o‘lchov elementi (sensor) tanlandi va ularning ishlash prinsipi asosida qurilmaning o‘lchash sxemasi loyihalashtirildi. Quvvat ta‘minoti tizimini hisoblashda kunlik energiya balansi tamoyiliga asoslanildi, bunga ko‘ra quyosh moduli ishlab chiqaradigan energiya qurilmaning sutkalik sarfini zaxira bilan qoplashi zarur. Barcha tarkibiy qismlar mikrokontroller atrofida yagona elektr va dasturiy tizimga birlashtirilgach, tayyor namuna kuzatuv qudug‘i sharoitida sinovdan o‘tkazildi.

Har bir sensor ishlatishga tayyorlash bosqichida ishlab chiqaruvchi tomonidan berilgan texnik tavsiflarga muvofiq tekshiruvdan o‘tkazildi; xususan, pH datchigi standart bufer eritmalar yordamida, elektr o‘tkazuvchanlik datchigi esa ma‘lum konsentratsiyali eritmalar yordamida kalibrlandi, bu esa keyingi o‘lchov natijalarining ishonchliligini ta‘minlashga xizmat qildi.

Suv sathini aniqlashda sensor tomonidan

(cc) BY

qayd etilgan gidrostatik bosim qiymatidan foydalaniladi, chunki suyuqlik ustunining bosimi uning balandligiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liq bo‘ladi:

$$h = \frac{P}{\rho g} (1)$$

bu yerda h — suv sathining sensor ustidagi balandligi (m), P — sensor tomonidan qayd etilgan gidrostatik bosim (Pa), ρ — suvning zichligi (kg/m³), g — erkin tushish tezlanishi (m/s²). Ushbu tamoyil PL315 moduli asosidagi suv sathi sensorining ishlash negizini tashkil etadi.

Suvning zichligi ρ harorat o‘zgarishi bilan bir oz farqlanadi, shu sababli qurilmada sath sensori bilan bir qatorda harorat datchigining ham mavjudligi (1)-formula bo‘yicha hisoblangan natijani harorat ta‘siriga nisbatan tuzatish imkonini beradi; bu jihat bir nechta ko‘rsatkichni yagona qurilmada birgalikda o‘lchashning amaliy afzalliklaridan birini tashkil etadi.

Qurilmaning tashqi elektr manbaidan mustaqil, uzluksiz ishlashini ta‘minlash uchun quyosh modulining quvvati quyidagi shart asosida tanlandi:

$$P_{quyosh} \cdot t_{yorug'} \cdot \eta \geq P_{sarf} \cdot 24 \qquad (2)$$

bu yerda Pquyosh — quyosh modulining nominal quvvati (Vt), tyorug‘ — kuzatuv hududi uchun o‘rtacha kunlik quyosh yorug‘lik soati (soat), η — kontroller, akkumulyator va invertordagi yo‘qotishlarni hisobga oluvchi tizimning umumiy foydali ish koeffitsienti, Psarf — mikrokontroller, sensorlar, LoRa moduli va displeyning o‘rtacha quvvat sarfi (Vt), 24 — sutkadagi soatlar soni. Ushbu shartga asoslanib akkumulyator sig‘imi ham bulutli kunlar zaxirasini hisobga olgan holda tanlanadi.

1-jadval.

Qurilmaning asosiy tarkibiy qismlari va vazifalari

№	Element	Qurilma raqami	Vazifasi
1	Mikrokontroller	3	Sensorlardan signal qabul qilish, dastlabki qayta ishlash va LoRa moduliga uzatish
2	Suv sathi sensori (PL315)	6, 9	Gidrostatik bosim asosida suv sathini o‘lchash
3	Harorat datchigi	10	Suv haroratini o‘lchash
4	pH datchigi	11	Suvning kislotalilik-ishqoriylik darajasini o‘lchash
5	Elektr o‘tkazuvchanlik datchigi	12	Suvdagi erigan tuzlar miqdorini bilvosita baholash
6	Suzuvchi element	8	Sensorlarni suv yuzasida erkin holatda ushlab turish
7	Kabel	7, 25	Sensorlar va boshqaruv qismlari orasida signal hamda elektr energiyasini uzatish
8	LoRa moduli	4	O‘lchov ma‘lumotlarini simsiz uzatish
9	Displey	5	O‘lchov natijalarini mahalliy ko‘rsatish
10	Raspberry Pi	14	Monitoring markazida qabul qilingan ma‘lumotlarni qayta ishlash va saqlash
11	Quyosh (fotoelektrik)	16	Qurilmani elektr energiyasi bilan ta‘minlash

(cc) BY

№	Element	Qurilma raqami	Vazifasi
	moduli		
12	Kontroller (K)	21	Quyosh modulidan kelayotgan energiya oqimini boshqarish
13	Akkumulyator (AKB)	22	Ishlab chiqarilgan elektr energiyasini saqlash
14	Invertor (IN)	23	Kuchlanishni iste‘molchi qurilmalarga mos shaklga o‘zgartirish
15	Boshqaruv tizimi (BT)	24	Quvvat taqsimotini umumiy boshqarish
16	Metall tayanch	15	Qurilma elementlarini kuzatuv qudug‘i yonida o‘rnatish uchun tayanch konstruksiya
17	Purkash tizimi (nasos, filtr, quvur)	18, 19, 20	Quyosh moduli yuzasini avtomatik changdan tozalash
18	Yoritish chirog‘i	17	Tungi vaqtda kuzatuv va xavfsizlik uchun yoritish

Tayyor namunani sinovdan o‘tkazish bosqichida barcha to‘rtta sensordan olingan ko‘rsatkichlarning mikrokontrollerda to‘g‘ri qayd etilishi, ularning LoRa moduli orqali monitoring markaziga uzilishsiz uzatilishi hamda Raspberry Pi asosidagi qabul qiluvchi qurilmada displeyda va operator interfeysida to‘g‘ri aks etishi tekshirildi. Shuningdek, quyosh moduli va akkumulyatordan iborat quvvat ta‘minoti tizimining tunda va bulutli sharoitda ham qurilmani uzluksiz ishga tushirib turishi kuzatildi.

Monitoring qurilmasi kuzatuv qudug‘i sharoitida sinovdan o‘tkazildi, natijada sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlarining barchasi bitta qurilma orqali bir vaqtning o‘zida o‘lchanib, LoRa kanali orqali monitoring markaziga real vaqtda uzatilishi tasdiqlandi.

XULOSA

Shuni alohida ta‘kidlash lozimki, keltirilgan natijalar bitta kuzatuv qudug‘i sharoitida o‘tkazilgan dastlabki sinov asosida olingan bo‘lib, qurilmaning turli iqlim va tuproq sharoitlaridagi uzoq muddatli barqarorligini to‘liq baholash uchun kelgusida bir necha kuzatuv nuqtasini qamrab oluvchi qo‘shimcha dala tadqiqotlari o‘tkazilishi maqsadga muvofiqdir.

Ushbu tadqiqot natijasida yer osti sizot suvlarining sathi, harorati, pH va elektr o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlarini bir vaqtning o‘zida aniqlash hamda ularni LoRa texnologiyasi orqali monitoring markaziga simsiz uzatishga mo‘ljallangan qurilma modeli ishlab chiqildi va kuzatuv qudug‘i sharoitida sinovdan muvaffaqiyatli o‘tkazildi, bu esa kirishda qo‘yilgan maqsadga to‘liq erishilganligini ko‘rsatadi. To‘rtta ko‘rsatkichni yagona qurilma tarkibida birlashtirib, ularni bitta simsiz kanal orqali uzatish hamda quyosh moduli hisobiga to‘liq avtonom ishlashni ta‘minlash ishning ilmiy yangiligini tashkil etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. G. Memonova, P. Schmidt, J. Tursunov, and G. Gofurova, "Automated groundwater monitoring system with real-time data collection and analysis using LoRa and GSM technologies," in Proc. 16th Int. Sci. Pract. Conf. Environment. Technology. Resources., vol. 4, 2025, pp. 209–215, doi: 10.17770/etr2025vol4.8412.
2. P. Jiang, H. Xia, Z. He, and Z. Wang, "Design of a water environment monitoring system based on wireless sensor networks," Sensors, vol. 9, no. 8, pp. 6411–6434, 2009, doi: 10.3390/s90806411.
3. R. M. Woo-García, J. M. Pérez-Vista, A.

(cc) BY

Sánchez-Vidal, A. L. Herrera-May, E. Osorio-de-la-Rosa, F. Caballero-Briones, and F. López-Huerta, "Implementation of a wireless sensor network for environmental measurements," Technologies, vol. 12, no. 3, Art. no. 41, 2024, doi: 10.3390/technologies12030041.

4. K. S. Adu-Manu, J.-D. Abdulai, F. Engmann, M. Akazue, J. K. Appati, G. E. Baiden, and G. Sarfo-Kantanka, "WSN architectures for environmental monitoring applications," Journal of Sensors, vol. 2022, Art. no. 7823481, 2022, doi: 10.1155/2022/7823481.
5. A. J. Calderwood, R. A. Pauloo, A. M. Yoder, and G. E. Fogg, "Low-cost, open source wireless sensor network for real-time, scalable groundwater monitoring," Water, vol. 12, no. 4, Art. no. 1066, 2020, doi: 10.3390/w12041066.
6. D. Coletto Gallego, J. Vanzolini, R. Santos, and G. Eggly, "An IoT device for autonomous groundwater monitoring: Solar energy harvesting, power management, and LoRa communication," Hardware, vol. 4, no. 3, Art. no. 16, 2025, doi: 10.3390/hardware4030016.
7. M. Espinoza Ortiz, J. P. Apún Molina, S. I. Belmonte Jiménez, J. Herrera Barrientos, H. J. Peinado Guevara, and A. Santamaria Miranda, "Development of low-cost IoT system for monitoring piezometric level and temperature of groundwater," Sensors, vol. 23, no. 23, Art. no. 9364, 2023, doi: 10.3390/s23239364.
8. I. Georgantas, S. Mitropoulos, S. Katsoulis, I. Chronis, and I. Christakis, "Integrated low-cost water quality monitoring system based on LoRa network," Electronics, vol. 14, no. 5, Art. no. 857, 2025, doi: 10.3390/electronics14050857.
9. C. A. G. Gómez-Henk, G. C. Daraviña-Peña, C. A. Mesa-Montoya, C. Deluque-Toro, E. A. Ariza-Echeverri, and D. Vergara, "Design and functional implementation of a low-cost LoRaWAN-enabled multi-sensor platform for decentralized water quality applications," Applied Sciences, vol. 16, no. 15, Art. no. 7547, 2026, doi: 10.3390/app16157547.
10. W. H. Sugiharto, H. Susanto, and A. B. Prasetijo, "Real-time water quality assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, temperature, and turbidity," Ingénierie des Systèmes d'Information, vol. 28, no. 4, pp. 823–831, 2023, doi: 10.18280/isi.280403.
11. R. Bogdan, C. Paliuc, M. Crisan-Vida, S. Nimara, and D. Barmayoun, "Low-cost Internet-of-Things water-quality monitoring system for rural areas," Sensors, vol. 23, no. 8, Art. no. 3919, 2023, doi: 10.3390/s23083919.
12. G. N. Memonova, "Areas of use of the MoleNet device in wireless sensor networks," in Proc. Int. Conf. Advance Research in Humanities, Sciences and Education (ICARHSE), London, U.K., Apr. 2023, pp. 297–301.

(cc) BY