OROLBO‘YI SHAROITIDA TUPROQ SHO‘RLANISHINI BAHOLASH UCHUN LORAWAN ASOSIDAGI MONITORING TIZIMI

Qudaybergenov Adilbay Abatbaevich[1], Qazimbetova Muxabbat Maxsetbaevna[2], Absametov Bayram Bekbosinovich[2], Kalbaev Allambergen Markabaevich[2], Qudaynazarov Muxammed Sadik uli[2]

[1]Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti
[2]Berdax nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti
E-mail:adilbaygm@gmail.com

K E Y W O R D S

Orolbo‘yi, tuproq sho‘rlanishi, LoRaWAN, monitoring tizimi, elektr o‘tkazuvchanlik, veb-ilova

A B S T R A C T

Ushbu maqolada Orolbo‘yi sharoitida tuproq sho‘rlanishini tezkor baholash va masofadan kuzatish uchun LoRaWAN asosidagi monitoring tizimini yaratish hamda uning sinov (pilot) natijalarini tahlil qilish masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda Milesight EM500-SMTC tuproq sensorlari, UG65 shlyuzi va wan.nmtu.uz veb-ilovasi asosida harorat, namlik va elektr o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichlarini yig‘ish, uzatish, saqlash va vizuallashtirish arxitekturasi ishlab chiqildi. Monitoring jarayonida ma’lumotlar sensorlardan LoRaWAN tarmog‘i orqali serverga uzatilib, veb-ilovaning bosh sahifasida joriy holat kartochkalari, alohida sensor sahifalarida esa parametrlar dinamikasi grafiklari va yozuvlar tarixi jadvali shakllantirildi. Sinov kuzatuvlar asosida tanlangan nuqtalarda tuproq harorati, namligi va elektr o‘tkazuvchanligining fazoviy hamda vaqt bo‘yicha farqlari aniqlandi. Elektr o‘tkazuvchanlik qiymatlaridagi tafovutlar ayrim uchastkalarda sho‘rlanish darajasi boshqalariga nisbatan yuqoriroq ekanini ko‘rsatdi. Vaqt qatorlari tahlili esa bir nuqtaning o‘zida ham ko‘rsatkichlar sutkalik dinamikaga ega ekanini tasdiqladi. Olingan natijalar taklif etilgan tizimning tuproq meliorativ holatini uzluksiz nazorat qilish, muammoli maydonlarni erta aniqlash va keyingi kengaytirilgan monitoring ishlari uchun amaliy jihatdan samarali ekanini ko‘rsatdi.

KIRISH

Orolbo‘yi hududlari so‘nggi o‘n yilliklarda global miqyosdagi ekologik inqiroz zonalaridan biri sifatida qaralmoqda. Orol dengizining qurib borishi natijasida katta maydonda ochiq dengiz tubi shakllandi, bu esa tuproqning kuchli sho‘rlanishi, tuz-chang bo‘ronlarining faollashuvi, o‘simlik qoplamining o‘zgarishi va aholi turmush sifatiga salbiy ta’sirlar bilan kechmoqda [1–6]. Janubiy Orolbo‘yida tuproq sho‘rlanishining ekologik bahosi, qurigan dengiz tubidan ko‘tariladigan tuz-changning o‘simlik qoplamiga ta’siri hamda ekstremal iqlim sharoitidagi atrof-muhit omillarining aholi hayotiga ta’siriga bag‘ishlangan ishlar mazkur muammoning kompleks xarakterga ega ekanini ko‘rsatadi [1,2,4].

Orolbo‘yida tuproq sho‘rlanishini o‘rganishda masofadan zondlash va hududiy modellashtirish usullari muhim o‘rin tutadi. Xususan, qurigan dengiz tubida tuproq sho‘rlanishini kartalashtirish, o‘simlik dinamikasi bilan bog‘lash, Amudaryo deltasida yer degradasiyasi drayverlarini baholash hamda Orol havzasida yer-suv resurslaridan foydalanish holatini masofadan baholashga qaratilgan ishlar sho‘rlanishning fazoviy qonuniyatlarini aniqlashda muhim natijalar bergan [3,5,7,8]. Shu bilan birga, ushbu tadqiqotlar asosan regional miqyosdagi tahlillarga tayanadi. Ularda mahalliy uchastkalar kesimida tuproqning tez o‘zgaruvchan parametrlarini real vaqtga yaqin reja asosida kuzatish imkoniyati cheklanganligicha qolmoqda.

Ekologik tiklanish va yerdan foydalanish samaradorligini oshirish nuqtai nazaridan Orol

(cc) BY

dengizining qurigan tubida o‘simlik qoplamini shakllantirish, afforestasiya[1] orqali tuproq xossalarini yaxshilash va degradasiyalangan hududlarni barqarorlashtirishga bag‘ishlangan ishlar ham dolzarb ahamiyatga ega [9,10]. Bu tadqiqotlar sho‘rlangan substratda o‘simlik qoplamining qaror topishi tuproqdagi kimyoviy va biologik jarayonlarga bog‘liq ekanini ko‘rsatadi. Demak, Orolbo‘yidagi amaliy tadqiqotlar uchun tuproqning tuz miqdoriga sezgir ko‘rsatkichlarini, ayniqsa elektr o‘tkazuvchanlikni, namlik va harorat bilan birgalikda uzluksiz nazorat qilish keyingi agromeliorativ qarorlar, yerni rekultivasiya qilish va mos o‘simlik turlarini tanlashda muhim axborot manbai bo‘ladi.

Tuproq sho‘rlanishini baholashda elektr o‘tkazuvchanlik ko‘rsatkichi eng keng qo‘llaniladigan indikatorlardan biri hisoblanadi. Corwin va Yemoto elektr o‘tkazuvchanlik hamda umumiy erigan tuzlar o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qilib, EC ko‘rsatkichining sho‘rlanish darajasini baholashdagi amaliy ahamiyatini asoslab bergan [11]. Corwin va Scudiero esa dala miqyosidagi ko‘rinma elektr o‘tkazuvchanlik ma’lumotlari tuproqning fazoviy geterogenligini aniqlashda yuqori axborot qiymatiga ega ekanini ko‘rsatgan [12]. So‘nggi yillarda yaratilgan selektiv elektr o‘tkazuvchanlik sensorlari ham tuz konsentrasiyasi o‘zgarishlarini qayd etishda EC o‘lchovlarining ahamiyatini yanada mustahkamladi [13]. Shu sababli EC, tuproq namligi va haroratini bir vaqtning o‘zida kuzatish sho‘rlanish jarayonini bir martalik emas, balki dinamik sistema sifatida baholash imkonini beradi.

Qishloq xo‘jaligida real vaqtga yaqin monitoring va masofaviy ma’lumot uzatish vazifalari uchun LoRaWAN texnologiyasi so‘nggi yillarda eng istiqbolli yechimlardan biri sifatida shakllandi. LoRaWAN asosidagi tuproq salomatligi monitoringi tizimlari, aqlli sug‘orish tarmoqlari va kam quvvatli sensor tarmoqlari uzoq masofaga ma’lumot uzatish, energiya sarfini kamaytirish va ko‘p parametrli kuzatuvlarni yagona raqamli infratuzilmada jamlash imkonini berayotgani ko‘rsatilgan [14–17]. Hamouda va hammualliflar aqlli sug‘orishda simsiz sensor tarmoqlarini validasiya qilgan bo‘lsa [15], Vandôme va hammualliflar qishloq xo‘jaligi suv boshqaruvi uchun arzon va takrorlanuvchan sensor arxitekturasini taklif qilgan [16]. Saban va hammualliflar LoRa va LoRaWAN asosida PLC hamda bulutli ilovalar bilan integrasiyalangan aqlli agrotizimni yaratgan [17]. Bu ishlar LoRaWAN texnologiyasi dala sharoitida ishonchli ishlay olishini tasdiqlaydi.

Qishloq xo‘jaligi monitoringida faqat tuproq parametrlari emas, balki yorug‘lik va fotosintetik faol radiasiya bilan bog‘liq ko‘rsatkichlar ham muhim ahamiyatga ega. Medina-García va hammualliflar sug‘orish tizimini LoRaWAN va IEEE 802.15.4 asosida qurishda PAR o‘lchovlarini integrasiya qilish agrobiologik jarayonlarni aniqroq baholashga xizmat qilishini ko‘rsatgan [18]. Shu nuqtai nazardan, Orolbo‘yi sharoitida tuproq sho‘rlanishini baholashga qaratilgan monitoring tizimi keyingi bosqichlarda yorug‘lik sensorlari bilan ham boyitilishi mumkin. Biroq, amaldaggi tadqiqot uchun birinchi navbatda tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi, namligi va haroratini barqaror va uzluksiz qayd etish hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Yuqorida keltirilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, Orolbo‘yi muammolari bo‘yicha ekologik, geoaxborot va masofadan zondlashga asoslangan tadqiqotlar yetarlicha mavjud bo‘lsada, tuproq sho‘rlanishini mahalliy nuqtalar kesimida LoRaWAN asosida uzluksiz monitoring qilishga qaratilgan amaliy tajriba ishlar hali kam. Shu sababli mazkur tadqiqotning maqsadi Orolbo‘yi sharoitida tuproq sho‘rlanishini baholash uchun LoRaWAN asosidagi monitoring tizimini ishlab chiqish va uning tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi, namligi va haroratini uzluksiz qayd etish hamda uchastkalar kesimidagi fazoviy-vaqtiy farqlarni aniqlash imkoniyatlarini tajriba sharoitida baholashdan iborat.

MATERIALLAR VA METODOLOGIYA

2.1. Tadqiqot hududi va eksperiment sharoiti

Tajriba poligoni Qoraqalpog‘iston Respublikasining Orolbo‘yi qismida, Nukus tumani hududida joylashgan sinov maydonlarida tashkil etildi. Kuzatuv ishlari aniq koordinatalari

[1] O‘rmon yo‘q yoki uzoq vaqtdan beri o‘rmon bo‘lmagan hududlarda yangi o‘rmon barpo qilish jarayoni

(cc) BY

42.710789 va 59.421003 bo‘lgan lokal uchastkalarda amalga oshirildi. Mintaqa iqlimi keskin kontinental va qurg‘oqchil bo‘lib, o‘rtacha yillik yog‘ingarchilik miqdori 100-121 mm atrofida. Bunday tabiiy sharoit tuproq namligi rejimi, bug‘lanish sur’ati va ikkilamchi sho‘rlanish jarayonlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi[19].

Sinov tajriba uchun Kerder OFY xudidida joylashgan uchta maydon tanlandi. Bunday yondashuv bir xil makroiqlim sharoitida tuproq muhitining mahalliy fazoviy farqlarini baholash imkonini berdi. Sensorlar 2026 yil 15 mart kuni joylashtirildi, asosiy sinov kuzatuvlari esa 2026 yil 16-17 mart kunlari amalga oshirildi. Tanlangan muddat qisqa bo‘lsa-da, vaqt qatorlari shaklida uzluksiz ma’lumot olish va tizimning ishlash qobiliyatini tekshirish uchun yetarli sinov bazasi yaratildi.

2.2. Qo‘llanilgan qurilmalar va texnik vositalar

Monitoring tizimida asosiy o‘lchov qurilmasi sifatida Milesight EM500-SMTC tuproq sensorlaridan, markaziy qabul va uzatish uzeli sifatida Milesight UG65 LoRaWAN shlyuzidan foydalanildi. Tizim konfigurasiyasiga qo‘shimcha muhit sensori sifatida Milesight EM500-LGT yorug‘lik sensori ham kiritildi. Qurilmalarning tadqiqot ishiga bevosita kerakli texnik parametrlari ishlab chiqaruvchining rasmiy texnik sahifalari asosida jamlandi. 1-jadvalga faqat tadqiqotni qayta tiklash, qurilma tanlovini asoslash va natijalarni talqin qilish uchun zarur bo‘lgan parametrlar kiritildi.



а) Milesight EM500-SMTC | *б) Milesight EM500-LGT* | *в) Milesight UG65*

1-rasm. *Tajribada qo‘llanilgan qurilmalar*

1-jadval.

Tadqiqotda qo‘llanilgan qurilmalarning asosiy texnik parametrlari

Курилма	**Асосий функsiyasi**	**Maqolaga tegishli texnik parametrlar**	**Tadqiqotdagi roli**
Milesight EM500-SMTC	Tuproq namligi, harorati va elektr o‘tkazuvchanligini o‘lchaydi	Namlik diapazoni 0-100%; aniqligi ±2% (0-50%) va ±3% (50-100%). Harorat diapazoni -40°C dan 80°C gacha; aniqligi ±0,5°C. Elektr o‘tkazuvchanlik diapazoni 0-20000 µS/sm; aniqligi ±3% (0-10000) va ±5% (10000-20000). Transsiver IP67,	Asosiy o‘lchov manbai; maqoladagi barcha EC, namlik va harorat natijalari shu sensorlardan olindi.

(cc) BY

		tuproq probasi IP68. Tuproqqa ko‘milgan holda o‘rnatiladi.	
Milesight EM500-LGT	Yorug‘lik intensivligini o‘lchaydi	O‘lchash diapazoni 0-100000 lux; aniqligi ±3%; o‘lchash qadami 1 lux. Transsiver IP67, yorug‘lik sensori IP65. Qutb, devor yoki DIN-reykaga o‘rnatish mumkin.	Qo‘shimcha muhit sensori; mazkur maqoladagi asosiy natijalar qatlamiga kiritilmagan, ammo tizimni keyingi kengaytirish uchun hisobga olindi.
Milesight UG65	LoRaWAN paketlarini qabul qiladi va tarmoq serveriga uzatadi	8 kanalli LoRaWAN shlyuz. Semtech SX1302 LoRa chipi. Quvvat manbai: DC 9-24 V, PoE yoki USB Type-C. Himoya darajasi IP65. 10 daqiqalik uplink intervalida taxminan 2000 ta Class A/B/C qurilmani qo‘llab-quvvatlaydi.	Markaziy qabul va uzatish vuzeli; sensorlardan kelgan paketlarni yig‘ish, serverga yo‘naltirish va dashbord bilan bog‘lash vazifasini bajardi.

2.3. LoRaWAN monitoring tizimining ulanish arxitekturasi

Tizim arxitekturasida EM500-SMTC sensorlari va, zaruratga ko‘ra, EM500-LGT sensori LoRaWAN oxirgi qurilmalari sifatida ishlaydi. UG65 esa ma’lumotlarni qabul qilib, tarmoq serveri orqali wan.nmtu.uz veb-ilovasiga yo‘naltiradi. Veb-ilovaning bosh sahifasida har bir sensor tuguni kartochka ko‘rinishida aks ettirilib, unda qurilma identifikatori, joriy harorat, namlik, elektr o‘tkazuvchanlik va oxirgi yangilanish vaqti ko‘rsatiladi. Kartochka tanlanganda alohida sensor sahifasi ochilib, unda qurilma ID, sensor nomi, online statusi, integral dinamika grafigi, harorat, namlik va elektr o‘tkazuvchanlikning alohida grafiklari hamda yozuvlar tarixi jadvali aks ettiriladi.

Tadqiqot natijalariga xizmat qilgan amaliy zanjirini 2-rasmda ko‘rsatish mumkin. Unda sensorlar, shlyuz, tarmoq serveri, arxiv qatlami va vizuallashtirish qatlami o‘rtasidagi ma’lumot oqimi ifodalangan.



2-rasm. *LoRaWAN asosidagi monitoring tizimining ulanish arxitekturasi*

2.4. Datchiklarni joylashtirish va o‘lchov protokoli

Sinov davrida uchta EM500-SMTC sensori tanlangan uchta sinov maydoniga o‘rnatildi. Sensorlar tuproq bilan barqaror kontakt ta’minlanadigan holda ishlab chiqaruvchining o‘rnatish tavsiyalariga muvofiq joylashtirildi. UG65 shlyuzi esa barcha sinov maydonlar bilan ishonchli aloqa ta’minlay oladigan nuqtaga o‘rnatildi. Sinov konfiguraцiyaning maqsadi katta hududni qamrab olishdan ko‘ra, qisqa masofadagi

(cc) BY *dtai.uz*

uchta nuqta bo‘yicha signal barqarorligi va mahalliy farqlarni qayd qilishdan iborat bo‘ldi.

Sinov o‘tkazilgan vaqtda uplink intervali 15 daqiqaga yaqin qilib sozlandi. Amalda kuzatilgan interval 15±2 daqiqani tashkil etdi. Har bir paket tarkibiga sensor identifikatori, vaqt belgisi, tuproq harorati, tuproq namligi va elektr o‘tkazuvchanlik qiymatlari kiritildi. Agar EM500-LGT sensori ulangan bo‘lsa, yorug‘lik intensivligi bo‘yicha ma’lumotlar ham qo‘shimcha qatlam sifatida qabul qilindi.

Kuzatuv protokoli barcha nuqtalar uchun bir xil saqlandi. Bu har bir sensordan olingan vaqt qatorlarini o‘zaro taqqoslash va keyingi statistik ishlovda fazoviy farqlarni ajratish uchun muhim bo‘ldi.

2.5. Ma’lumotlarni yig‘ish, saqlash va dastlabki qayta ishlash

Sensorlardan kelgan paketlar shlyuz tomonidan qabul qilindi va server qatlamida dekodlandi. Serverda vaqt qatorlari saqlanib, wan.nmtu.uz veb-ilovasi orqali joriy ko‘rsatkichlar, sensor kartochkalari, alohida sensor sahifalari, parametrlar dinamikasi va yozuvlar tarixi jadvali vizuallashtirildi. Bunday arxitektura monitoring jarayonini masofadan kuzatish, arxiv yozuvlarni tekshirish va keyingi tahlil uchun ma’lumotlarni tayyorlash vazifalarini bir vaqtning o‘zida qo‘llab-quvvatlaydi.

Dastlabki qayta ishlash bosqichida har bir sensor bo‘yicha qabul qilingan yozuvlar soni tekshirildi, vaqt belgilari izchilligi ko‘rib chiqildi va kutilgan uplink soniga nisbatan kelib tushgan paketlar soni asosida paket yo‘qolishi baholandi. Har bir nuqta uchun harorat, namlik va elektr o‘tkazuvchanlikning minimal, maksimal va o‘rtacha qiymatlari veb-ilovada saqlangan yozuvlar tarixi va vaqt qatorlari asosida hisoblandi. Fazoviy taqqoslash uchun jadvallardan, vaqt bo‘yicha o‘zgarishni tahlil qilish uchun esa veb-ilovada shakllantirilgan grafiklar va arxiv yozuvlardan foydalanildi.

Ushbu bosqichning asosiy vazifasi laboratoriya-kimyoviy tahlilni almashtirish emas, balki sensorlardan kelgan xom vaqt qatorlarini maqoladagi natijalar bo‘limi uchun ishonchli va taqqoslanuvchan formatga keltirishdan iborat bo‘ldi.

2.6. Tuproq sho‘rlanishini baholash mantig‘i

Mazkur tadqiqotda tuproq sho‘rlanishini baholashning asosiy indikatori sifatida tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi qabul qilindi. Elektr o‘tkazuvchanlik tuproq eritmasidagi eruvchan tuzlar miqdori bilan bog‘liq integral ko‘rsatkich bo‘lgani uchun, u sinov monitoring sharoitida nuqtalar o‘rtasidagi nisbiy farqlarni aniqlashda eng axborotli parametr sifatida qaraldi. Namlik va harorat ko‘rsatkichlari esa EC qiymatlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini izohlashga yordam beruvchi qo‘shimcha omillar sifatida ishlatildi.

Sho‘rlanish darajasiga doir “kuchli sho‘rlangan”, “o‘rtacha sho‘rlangan” yoki “kam sho‘rlangan” kabi baholar sinov maqsadida qo‘llanildi. Bu baholash absolyut agrokimyoviy xulosa emas, balki kuzatilgan EC qiymatlarini o‘zaro solishtirishga qaratilgan tezkor diagnostik yondashuv hisoblanadi. Shu sababli, maqoladagi sho‘rlanish tavsiflari laboratoriyada aniqlanadigan EC yoki ion tarkibi bilan to‘liq tenglashtirilmaydi.

Bunday yondashuv monitoring tizimining amaliy vazifasiga mos keladi: u muammoli nuqtalarni tez aniqlash, fazoviy farqlarni ko‘rsatish va keyingi kengaytirilgan agrokimyoviy yoki geoaxborot tahlillari uchun dastlabki ma’lumot bazasini shakllantirishga xizmat qiladi.

2.7. Tadqiqot cheklovlari

Tadqiqot sinov xarakterga ega bo‘lgani uchun bir qator cheklovlar saqlanib qoldi. Birinchidan, kuzatuv tarmog‘i uchta asosiy EM500-SMTC sensori bilan cheklandi. Ikkinchidan, natijalar qisqa vaqt qatorlariga asoslandi. Uchinchidan, elektr o‘tkazuvchanlik qiymatlari bilan bir vaqtda tuproq eritmasi bo‘yicha laboratoriya tahlillari olib borilmagani sababli, sho‘rlanish darajasiga doir baholar nisbiy va tezkor diagnostik xarakterga ega.

Shu bilan birga, aynan ushbu cheklangan konfiguraцiya tizimning amaliy ishlash qobiliyatini, lokal fazoviy farqlarni ushlash imkoniyatini va LoRaWAN asosidagi monitoring yondashuvining Orolbo‘yi sharoitida qo‘llanish

(cc) BY

salohiyatini namoyon qilish uchun yetarli bo‘ldi. Keyingi bosqichda datchiklar sonini ko‘paytirish, uzoqroq kuzatuv davrini tashkil etish, meteorologik parametrlarni kengaytirish va laboratoriya kalibrlashini kiritish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

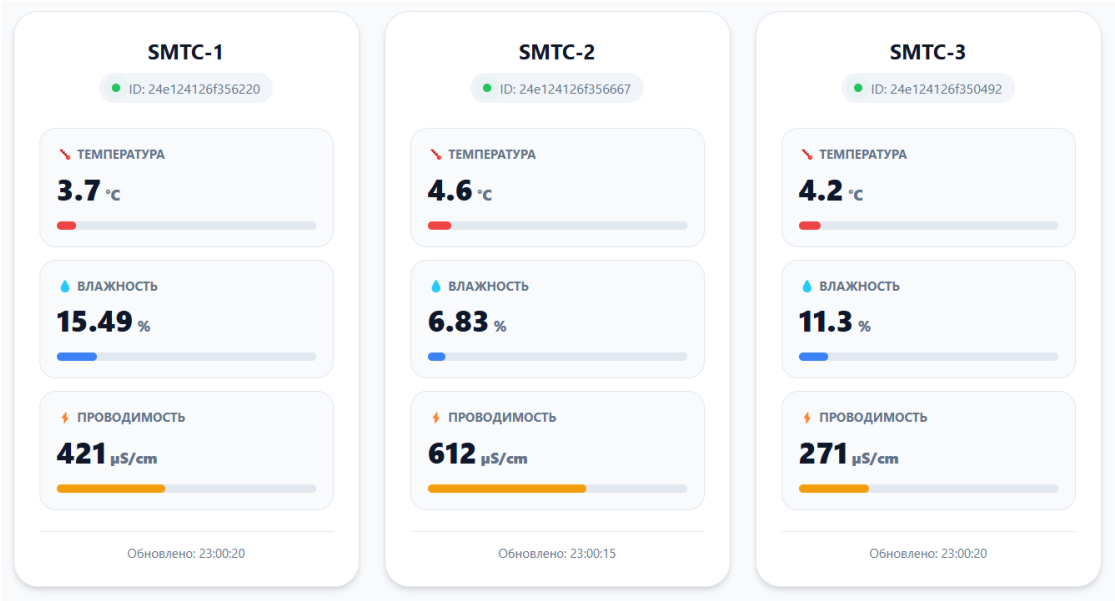
TADQIQOT NATIJALARI

3.1. Tizimni ishga tushirish va ma’lumotlarni to‘plash natijalari

Orolbo‘yi sharoitidagi sinov monitoring uchastkalarida uchta EM500-SMTC tuproq sensori muvaffaqiyatli joylashtirildi. LoRaWAN shlyuzi barcha qurilmalardan signalni barqaror qabul qildi. Kuzatuvlar davrida har bir datchikdan 49-50 ta o‘lchovlar olindi, o‘lchovlar intervali esa 15±2 daqiqani tashkil etdi. Olingan vaqt qatorlari tizimning barqaror ishlaganini va ma’lumotlar paketlarining yo‘qolishi 2% dan oshmaganini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, shlyuzgacha bo‘lgan ishonchli aloqa masofasi kamida 2 km ni tashkil etdi.

Tizimning veb-interfeysi orqali monitoring jarayoni ikki darajada kuzatib borildi. Bosh sahifada SMTC-1, SMTC-2, SMTC-3 va SMTC-4 sensor tugunlari kartochka ko‘rinishida aks ettirilib, har biri uchun qurilma ID si, joriy harorat, namlik, elektr o‘tkazuvchanlik va oxirgi yangilanish vaqti ko‘rsatildi. Kartochka bosilganda qurilmaning detallashgan sahifasi ochilib, unda online status, umumiy dinamika grafigi, harorat, namlik va elektr o‘tkazuvchanlikning alohida grafiklari hamda yozuvlar tarixi jadvali ko‘rsatildi. Tajriba davrida server tomonidan kelib tushgan ma’lumotlar uzluksiz qabul qilindi va shu interfeys orqali vizuallashtirildi.

3-rasmdagi veb-interfeys ma’lumotlariga ko‘ra, vaqtda ham nuqtalar o‘rtasidagi farq yaqqol saqlangan: SMTC-1 uchun harorat 3,7°C, namlik 15,49% va elektr o‘tkazuvchanlik 421 µS/sm; SMTC-2 uchun mos ravishda 4,6°C, 6,83% va 612 µS/sm; SMTC-3 uchun esa 4,2°C, 11,3% va 271 µS/sm qiymatlar qayd etilgan. Veb-ilovaning alohida sensor sahifasida qurilma identifikatori, sensor nomi, online status, vaqt qatorlari grafiklari va arxiv yozuvlar jadvali ko‘riladi. Shu bilan birga, ushbu tadqiqotdagi miqdoriy tahlil sinov o‘tkazilgan vaqtlarda barqaror va to‘liq ma’lumot bergan SMTC-1, SMTC-2 va SMTC-3 sensorlari ma’lumotlari asosida bajarildi.



3-rasm. *Tizimning veb-interfeysi*

3.2. Tuproq parametrlarining fazoviy o‘zgaruvchanligi

Kuzatuvlar davridagi o‘rtacha ma’lumotlarni tahlil qilish monitoring nuqtalari o‘rtasida tuproq parametrlarining sezilarli farq qilishini ko‘rsatdi. 1-jadvalda sinov vaqtida harorat, namlik va elektr o‘tkazuvchanlikning o‘rtacha qiymatlari keltirilgan.

(cc) BY

2-jadval.

Monitoring uchastkalarida tuproqning o'rtacha ko'rsatkichlari

Datchik	**Harorat, °C**	**Namlik, %**	**Elektr o'tkazuvchanlik, µS/sm**	**Sho'rlanish darajasini baholash**
SMTC-1	4,6	16,0	439	O'rtacha sho'rlangan
SMTC-2	6,0	7,5	625	Kuchli sho'rlangan
SMTC-3	5,6	12,5	240	Sho'rlanmagan (kuchsiz sho'rlangan)

Izoh. Sho'rlanish darajasi tuproqning elektr o'tkazuvchanligi bo'yicha qoralamada keltirilgan tasnif asosida taxminiy baholandi.

2-jadval ma'lumotlariga ko'ra, elektr o'tkazuvchanlik 240 dan 625 µS/sm gacha o'zgargan. Eng yuqori qiymat SMTC-2 nuqtasida qayd etildi, bu yerda tuproq namligi 7,5% ni tashkil qildi. SMTC-1 nuqtasida elektr o'tkazuvchanlik 439 µS/sm, namlik esa 16,0% bo'ldi. Eng past elektr o'tkazuvchanlik SMTC-3 nuqtasida kuzatilib, u 240 µS/sm ga teng bo'ldi; ushbu nuqtada namlik 12,5% ni tashkil etdi. Harorat qiymatlari esa 4,6°C dan 6,0°C gacha oraliqda qayd etildi.

3.3. Elektr o'tkazuvchanlikning sutkalik dinamikasi

Vaqt qatorlarini tahlil qilish barcha monitoring nuqtalarida harorat va elektr o'tkazuvchanlikning sutkalik o'zgarishi mavjudligini ko'rsatdi. 4-rasmda uchta datchik bo'yicha elektr o'tkazuvchanlikning o'zgarish grafiklari keltiriladi.

4-rasm grafiklari sinov davri mobaynida elektr o'tkazuvchanlik qiymatlarining nisbiy tartibi barqaror saqlanganini ko'rsatdi: ko'p holatlarda eng yuqori qiymatlar SMTC-2, o'rtacha qiymatlar SMTC-1 va eng past qiymatlar SMTC-3 nuqtasiga to'g'ri kelgan. Shu bilan birga, barcha grafiklarda kunduzgi va tungi vaqt oralig'ida qiymatlarning bir necha marta ketma-ket o'zgarishi qayd etilgan.

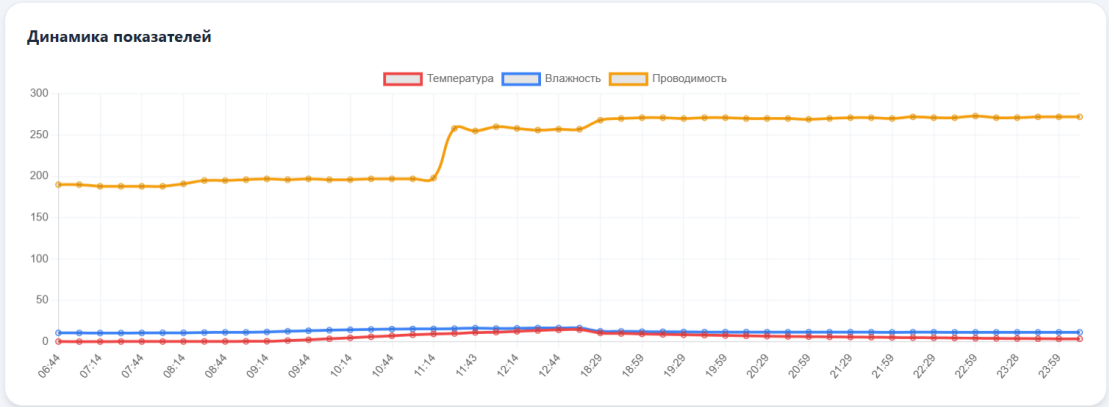


a) SMTC-1



b) SMTC-2

(cc) BY *dtai.uz*



v) SMTC-3

***4-rasm**. Barcha datchiklar bo'yicha elektr o'tkazuvchanlik (EC) o'zgarish grafigi*

*E*ng katta tebranish SMTC-2 nuqtasida kuzatildi. Ushbu nuqtada kunduzgi soatlarda (14:00–17:00) tuproq harorati 11,7°C gacha ko'tarilganda elektr o'tkazuvchanlik taxminan 590 µS/sm gacha pasaydi. Kechki va tungi soatlarda (20:00–04:00) tuproq harorati 2,5°C gacha tushganda elektr o'tkazuvchanlik ortib, soat 04:00 da 660 µS/sm ga yetdi. Natijada ushbu nuqtada 12,5 soat ichida EC tebranish amplitudasi 70 µS/sm ni tashkil etdi.

SMTC-1 nuqtasida elektr o'tkazuvchanlik 410 µS/sm dan 470 µS/sm gacha o'zgardi va tebranish amplitudasi 60 µS/sm ni tashkil etdi. Eng yuqori qiymatlar tungi soatlarda, eng past qiymatlar esa kunduzgi isish davrida qayd etildi.

SMTC-3 nuqtasida esa kunduzgi soatlarda (14:00–18:00) elektr o'tkazuvchanlik 240 µS/sm dan 216 µS/sm gacha pasaydi va keyinchalik tungi vaqtga borib yana ortishi kuzatildi. Ushbu nuqta uchun tebranish amplitudasi 24 µS/sm ni tashkil etdi.

Barcha nuqtalarda tuproq haroratining sutkalik yo'nalishi o'xshash bo'lib, maksimal qiymatlar kunduzgi soatlarda (16:00–18:00), minimal qiymatlar esa tongga yaqin (04:00–06:00) qayd etildi.

NATIJALAR MUHOKAMASI

Olingan natijalar LoRaWAN asosidagi monitoring tizimi Orolbo'yi sharoitida tuproqning agromeliorativ ko'rsatkichlarini uzluksiz kuzatish uchun amaliy jihatdan ishlaydigan yechim ekanini ko'rsatdi. Uchta EM500-SMTC sensori va UG65 shlyuzi asosida yig'ilgan ma'lumotlar sinov o'tkazilgan vaqtlarda 15±2 daqiqalik intervalda barqaror qabul qilindi, paketlar yo'qolishi 2% dan oshmadi va ishonchli aloqa masofasi kamida 2 km ni tashkil etdi. Bu esa tizimning sinov tajriba sharoitida yetarlicha barqaror ishlaganini va qisqa vaqtli o'zgarishlarni qayd etishga texnik jihatdan qodirligini anglatadi.

Tuproq parametrlarining fazoviy farqlanishi natijalarning eng muhim jihatlaridan biri bo'ldi. Bir-biriga yaqin joylashgan uchta nuqtada elektr o'tkazuvchanlikning o'rtacha qiymatlari 240, 439 va 625 µS/sm ni, namlik qiymatlari esa 7,5% dan 16,0% gacha oraliqni tashkil etdi. Bunday tarqoqlik bir xil hudud doirasida ham tuproq muhitining bir jinsli emasligini ko'rsatadi. Xususan, SMTC-2 nuqtasida nisbatan yuqori EC va past namlikning bir vaqtda kuzatilishi mazkur uchastkaning boshqa nuqtalarga nisbatan noqulayroq agromeliorativ holatga ega ekanini ko'rsatsa, SMTC-3 nuqtasida pastroq EC qiymatlari qayd etilgani ushbu nuqtaning tuzlanish darajasi nisbatan kamroq ekanini anglatadi. Shu ma'noda, lokal monitoring ma'lumotlari maydon ichidagi yashirin farqlarni aniqlashda an'anaviy yakka o'lchovlarga nisbatan ko'proq axborot beradi.

Elektr o'tkazuvchanlikning vaqt bo'yicha o'zgarishi ham muhim amaliy xulosalarga olib keladi. SMTC-2 nuqtasida EC 590 dan 660 µS/sm gacha o'zgarib, tebranish amplitudasi 70 µS/sm ni tashkil etdi; SMTC-1 nuqtasida ushbu ko'rsatkich 410–470 µS/sm oralig'ida bo'lib, amplituda 60 µS/sm ni tashkil qildi; SMTC-3 nuqtasida esa 216–240 µS/sm oralig'idagi o'zgarish kuzatildi va amplituda 24 µS/sm bo'ldi. Demak, nafaqat nuqtalar o'rtasidagi farq, balki bir nuqtaning o'zida ham qisqa vaqt ichida sezilarli dinamika

(cc) BY

mavjud. Bu holat tuproq sho‘rlanishini bir martalik emas, balki vaqt qatorlari asosida baholash zarurligini ko‘rsatadi. Ayniqsa, SMTC-2 nuqtasidagi yuqori amplituda ushbu uchastkaning tuz концентрaциyasi va namlik rejimi tashqi omillarga sezgirroq ekanini ko‘rsatadi.

Barcha nuqtalarda tuproq haroratining o‘xshash sutkalik yo‘nalishda o‘zgargani ham ma’lumotlarning ichki izchilligini tasdiqlaydi: maksimal qiymatlar kunduzgi soatlarda, minimal qiymatlar esa tongga yaqin qayd etilgan. Shu bilan birga, EC dinamikasining har bir nuqtada turlicha ko‘rinish olishi harorat omilidan tashqari namlik rejimi, sug‘orish holati va tuproq muhitining lokal xususiyatlari ham ahamiyatli bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Masalan, SMTC-3 nuqtasida kunduzgi soatlarda EC pasayib, keyin tunga yaqin yana ortishi kuzatilgan; bu esa ushbu nuqtada namlik va tuzlarning qayta taqsimlanish jarayonlari boshqa nuqtalardan farq qilishini anglatadi. Shunday qilib, uzluksiz monitoring faqat o‘rtacha qiymatlarni emas, balki jarayonning vaqt bo‘yicha rivojlanish xususiyatini ham ochib beradi.

Umuman olganda, olingan natijalar LoRaWAN asosidagi monitoring tizimi Orolbo‘yi sharoitida tuproq sho‘rlanishini baholash uchun axborotga boy va amaliy jihatdan qo‘llanishga yaroqli ekanini ko‘rsatdi. Biroq ushbu xulosalar pilot kuzatuv natijalariga asoslanganini hisobga olish lozim: tadqiqot qisqa vaqt oralig‘ida va cheklangan sondagi nuqtalarda amalga oshirilgan. Shu sababli, hozirgi bosqichda tizimning asosiy afzalligi keng hudud bo‘yicha yakuniy umumlashma berishdan ko‘ra, lokal farqlarni tezkor aniqlash, muammoli uchastkalarni ajratish va keyingi kengaytirilgan monitoring ishlari uchun ma’lumot asosini yaratishda namoyon bo‘ladi. Bu esa mazkur yondashuvni Orolbo‘yi hududlarida tuproq meliorativ holatini kuzatishning keyingi bosqichlari uchun metodik va texnik baza sifatida qarash imkonini beradi.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda Orolbo‘yi sharoitida tuproq sho‘rlanishini baholash uchun LoRaWAN asosidagi monitoring tizimining tajriba varianti sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar tizim tuproqning elektr o‘tkazuvchanligi, namligi va haroratini uzluksiz qayd etish hamda nuqtalar kesimidagi fazoviy va vaqt bo‘yicha farqlarni aniqlash imkoniga ega ekanini ko‘rsatdi. Kuzatuvlar ayrim uchastkalarda sho‘rlanish darajasi va uning sutkalik dinamikasi sezilarli farq qilishini tasdiqladi. Bu esa LoRaWAN asosidagi yondashuv tuproq meliorativ holatini tezkor baholash va muammoli maydonlarni erta aniqlash uchun amaliy ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi. Keyingi bosqichda monitoring tarmog‘ini kengaytirish maqsadga muvofiq.

MINNATDORChILIK

Ushbu tadqiqot ishi Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universitetida 2025–2026 yillarda amalga oshirilayotgan AL-9424104879-R1 “Orol dengizi qurigan tubi tuproq-iqlim sharoitiga mos o‘simliklarni tasniflash va yerdan foydalanish samaradorligini oshirish algoritmlari” mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarildi. Mualliflar mazkur loyiha doirasida yaratilgan tadqiqot sharoitlari va texnik qo‘llab-quvvatlash uchun minnatdorchilik bildiradilar.

FOYDALANILGAN ADABIYoTLAR

1. Turdimambetov I. et al. Measurement of Environmental Indicators of the Quality of Life in a Region with Extreme Climatic Conditions. Evidence from Around the Aral Sea // GTG. 2024. T. 57, № 4 supplement. S. 1941–1951.
2. Kublanov J., Tleumuratova B. The Effect of Salt and Dust Storms from the Drained Bottom of the Aral Sea on Vegetation Cover // UniChem. 2024. T. 126, № 12.
3. Duan Z. , et al. An insight into effect of soil salinity on vegetation dynamics in the exposed seafloor of the Aral Sea // Science of The Total Environment. 2024. T. 951. S. 175615.
4. Otenova F. T., Mambetullaeva S. M. Ecological assessment of soil salinization in the southern Aral Sea Region // BIO Web Conf. / pod red. Valiev A. i dr. 2024. T. 103. S. 00027.
5. Duan Z., Wang X., Sun L. Monitoring and Mapping of Soil Salinity on the Exposed Seabed of the Aral Sea, Central Asia // Water. 2022. T. 14, № 9. S. 1438.
6. Jiang L. et al. Assessing land degradation and quantifying its drivers in the Amudarya

(cc) BY

River delta // Ecological Indicators. 2019. T. 107. S. 105595.
7. Conrad C. et al. Remote sensing-based assessments of land use, soil and vegetation status, crop production and water use in irrigation systems of the Aral Sea Basin. A review // Water Security. 2020. T. 11. S. 100078.
8. Khorezm Rural Advisory Support Service i dr. Combining remote sensing and modeling approaches to assess soil salinity in irrigated areas of the Aral Sea Basin // CAJWR. 2020. T. 5, № 2. S. 64–81.
9. An J. et al. Vegetation establishment improves topsoil properties and enzyme activities in the dry Aral Sea Bed, Kazakhstan // FRSTST. 2018. T. 68, № 1. S. 1–6.
10. An J. et al. Changes in basic soil properties and enzyme activities along an afforestation series on the dry Aral Sea Bed, Kazakhstan // Forest Science and Technology. 2020. T. 16, № 1. S. 26–31.
11. Corwin D. L., Yemoto K. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids // Soil Science Soc of Amer J. 2020. T. 84, № 5. S. 1442–1461.
12. Corwin D. L., Scudiero E. Field-scale apparent soil electrical conductivity // Soil Science Soc of Amer J. 2020. T. 84, № 5. S. 1405–1441.
13. Horváth J. et al. An Electrical Conductivity Sensor for the Selective Determination of Soil Salinity // Sensors. 2024. T. 24, № 11. S. 3296.
14. Ramson S. R. J. et al. A Self-Powered, Real-Time, LoRaWAN IoT-Based Soil Health Monitoring System // IEEE Internet Things J. 2021. T. 8, № 11. S. 9278–9293.
15. Hamouda F. et al. Design and validation of a soil moisture-based wireless sensors network for the smart irrigation of a pear orchard // Agricultural Water Management. 2024. T. 305. S. 109138.
16. Vandôme P. et al. Making technological innovations accessible to agricultural water management: Design of a low-cost wireless sensor network for drip irrigation monitoring in Tunisia // Smart Agricultural Technology. 2023. T. 4. S. 100227.
17. Saban M. et al. A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan // Sensors. 2023. T. 23, № 5. S. 2725.
18. Medina-García J. et al. Efficient irrigation system using a combined wireless sensor network based on LoRaWAN and IEEE 802.15.4 technologies and photosynthetically active radiation measurements // Internet of Things. 2025. T. 34. S. 101801.
19. Climate-Data.org. Klimat Nukus (Uzbekistan) [Elektronnыy resurs] // Climate-Data.org. URL: https://ru.climate-data.org/aziya/uzbekistan/respublika-karakalpakstan/nukus-2779/ (data obraщeniya: 15.03.2026).

(cc) BY