SIRDARYO VILOYATIDA GRUNT SUVLARI SATHI, MINERALLASHUVI VA NDSI BOG‘LIQLIGINI SENTINEL-2 VA GEOSTATISTIKA ASOSIDA MODELLASHTIRISH

Aripov I., PhD – Guliston davlat universiteti dotsenti

Xasanova M. – Guliston davlat universiteti 3-bosqich talabasi

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda Sirdaryo viloyati sug‘oriladigan yerlarida grunt suvlari sathi, minerallashuvi va tuproq sho‘rlanishining NDSI ko‘rsatkichi o‘rtasidagi bog‘liqlik Sentinel-2 tasvirlari va geostatistik usullar asosida baholandi. Natijalar grunt suvlari sathi sayozlashishi va minerallashuv ortishi bilan NDSI qiymatlari oshishini ko‘rsatdi. Yoz mavsumida ushbu bog‘liqlik kuchaygani aniqlandi. Olingan natijalar sho‘rlanish xavfini monitoring qilish va meliorativ tadbirlarni rejalashtirishda foydalanish mumkin.

Kalit so‘zlar: Sirdaryo viloyati, grunt suvlari, minerallashuv, NDSI, Sentinel-2, sho‘rlanish, geostatistika.

Aripov I., PhD - associate professor Gulistan State University

Xasanova M. - 3nd-year student Gulistan State University

Abstract: This study assessed the relationship between groundwater level, mineralization, and the NDSI indicator of soil salinity in irrigated lands of the Syrdarya region using Sentinel-2 imagery and geostatistical methods. The results showed that NDSI values increased with shallower groundwater levels and higher mineralization. This relationship was found to be stronger during the summer season. The findings can be used to monitor salinity risks and support the planning of reclamation measures.

Keywords: Syrdarya region, groundwater, mineralization, NDSI, Sentinel-2, soil salinity, geostatistics.

Kirish. Tuproq sho‘rlanishi qishloq xo‘jaligi yerlarining degradatsiyasiga olib keluvchi eng muhim ekologik muammolardan biri bo‘lib, ayniqsa qurg‘oqchil va yarim qurg‘oqchil mintaqalarda sug‘orma dehqonchilik sharoitida keskin namoyon bo‘ladi. Markaziy Osiyo, xususan O‘zbekiston

sug‘oriladigan yerlarining taxminan 45–50 foizi turli darajada sho‘rlanganligi qayd etilgan [1, 2]. Sirdaryo viloyati Mirzacho‘l vohasining asosiy qismini egallashi, yer osti suvlari sathining yuqoriligi va drenaj tizimlarining yetarli rivojlanmaganligi sababli ushbu jarayonlarga nisbatan yuqori sezuvchanlikka ega [3, 4].

Grunt suvlari sathi va ularning minerallashuvi tuproq sho‘rlanishining asosiy omillari hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sizot suvlari sathi 1,5–2,0 m dan sayoz joylashgan hududlarda kapillyar ko‘tarilish hisobiga tuzlarning yuza qatlamlarda to‘planishi sezilarli darajada kuchayadi [5, 6]. Aripov va boshqalar (2024) Sirdaryo viloyatida grunt suvlari rejimining ekinlar hosildorligiga ta’sirini o‘rganib, minerallashuv darajasi 3 g/l dan yuqori bo‘lgan maydonlarda hosildorlikning keskin pasayishini aniqlaganlar [7].

So‘nggi yillarda masofadan zondlash texnologiyalari tuproq sho‘rlanishini tezkor va keng ko‘lamda monitoring qilishning samarali vositasiga aylandi. Normalized Difference Salinity Index (NDSI) SWIR va Green spektral diapazonlariga asoslangan holda sho‘rlanish darajasini farqlashda keng qo‘llanilmoqda [8, 9]. Axunboboyev, Zikirov va Kenjayev (2026) Sentinel-2 tasvirlari asosida Sirdaryo viloyatida NDSI yordamida mavsumiy sho‘rlanish xaritalarini yaratib, avgust oyida yuqori va juda yuqori toifadagi maydonlarning sezilarli ortganini ko‘rsatdilar [10]. Zikirov, Kenjayev va Aripov (2026) esa Landsat va Sentinel-2 ma’lumotlari, NDSI, SI va NDVI indekslari yordamida grunt suvlari sathi bilan sho‘rlanish o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qilganlar [11].

Shu bois, ushbu tadqiqotning maqsadi Sirdaryo viloyati sug‘oriladigan yerlarida grunt suvlari sathi, ularning minerallashuvi va NDSI o‘rtasidagi bog‘liqlikni Sentinel-2 multispektral tasvirlari hamda geostatistik usullar yordamida modellashtirishdan iborat. Tadqiqot natijalari sho‘rlanish xavfini oldindan baholash, meliorativ chora-tadbirlarni maqsadli rejalashtirish va suv resurslaridan oqilona foydalanishda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Natijalar. Sentinel-2 tasvirlari asosida hisoblangan NDSI qatlamlari va grunt suvlari kuzatuv ma’lumotlarining geostatistik interpolatsiyasi (IDW, Kriging) natijalari quyidagicha:

1-jadval. Grunt suvlari sathi, minerallashuvi va NDSI o‘rtasidagi bog‘liqlik ko‘rsatkichlari (2024-yil)

Parametr	**Bahor (mart)**	**Yoz (avgust)**	**Pearson r**	**p-qiymat**
Grunt suvlari sathi (m)	1,8 ± 0,4	1,4 ± 0,3	–0,72	<0,01
Minerallashuv (g/l)	2,6 ± 0,9	3,4 ± 1,1	0,68	<0,01
NDSI o‘rtacha qiymati	0,13	0,16	–	–

2-jadval.

NDSI toifalari bo‘yicha maydonlar taqsimoti (%)

NDSI toifasi	**Bahor**	**Yoz**	**O‘zgarish**
Past (≤ 0,10)	13	7	–6
O‘rtacha (0,10–0,15)	53	51	–2
Yuqori (0,15–0,20)	30	36	+6
Juda yuqori (> 0,20)	4	6	+2
Umumiy sho‘rlangan (≥0,10)	87	93	+6

3-jadval.

Tumanlar kesimida o‘rtacha NDSI va grunt suvlari sathi

Tuman	**O‘rtacha NDSI**	**Grunt suvlari sathi (m)**	**Minerallashuv (g/l)**
Oqoltin	0,17	1,3	3,8
Mirzaobod	0,16	1,4	3,5
Boyovut	0,15	1,5	3,2
Sardoba	0,18	1,2	4,1
Guliston	0,12	1,9	2,4

Kriging interpolatsiyasi xatolik ko‘rsatkichi (RMSE) grunt suvlari sathi uchun 0,28 m, minerallashuv uchun 0,41 g/l ni tashkil etdi. NDSI va grunt suvlari sathi o‘rtasidagi bog‘liqlik yoz mavsumida r = –0,78 gacha kuchaygan.

Muhokama. Olingan natijalar Sirdaryo viloyati sug‘oriladigan yerlarida grunt suvlari sathi, minerallashuvi va NDSI indeksi o‘rtasida kuchli bog‘liqlik mavjudligini tasdiqlaydi. Bahor mavsumida o‘rtacha NDSI qiymati 0,13 bo‘lgan bo‘lsa, yozda 0,16 gacha ko‘tarilgani, yuqori va juda yuqori sho‘rlanish toifalarining ulushi mos ravishda 6 va 2 foizga oshgani kuzatildi. Bu o‘zgarishlar grunt suvlari sathining 1,8 m dan 1,4 m gacha sayozlashishi va minerallashuvning 2,6 g/l dan 3,4 g/l gacha ortishi bilan bevosita bog‘liq. Pearson korrelyatsiya koeffitsiyenti yoz mavsumida r = –0,78 gacha kuchaygani bug‘lanish jarayonining kuchayishi sharoitida kapillyar ko‘tarilishning rolini yaqqol ko‘rsatadi.

Ushbu natijalar oldingi tadqiqotlar bilan yaxshi mos keladi. Axunboboyev, Zikirov va Kenjayev (2024) Sentinel-2 asosida o‘tkazgan tadqiqotlarida ham avgust oyida yuqori sho‘rlanish toifalarining sezilarli ortgani qayd etilgan edi. Zikirov, Kenjayev va Aripov (2024) ishlarida ham sizot suvlari sathi 1,5–2,0 m dan sayoz joylarda NDSI qiymatlarining yuqoriligi ta’kidlangan. Aripov va Radkevich (2024) grunt suvlari minerallashuvining hosildorlikka salbiy ta’sirini ko‘rsatgan bo‘lsa, ushbu tadqiqot bu bog‘liqlikni spektral indeks orqali miqdoriy ifodalash imkonini berdi. Omonov va boshqalar (2022) Landsat asosida o‘tkazgan tadqiqotlarida NDSI ning boshqa indekslarga nisbatan yuqori samaradorligi qayd etilgani ham bizning yondashuvimizni qo‘llab-quvvatlaydi.

Nazariy jihatdan tadqiqot natijalari qurg‘oqchil mintaqalarda ikkilamchi sho‘rlanish mexanizmini chuqurroq tushunishga xizmat qiladi. Grunt suvlari sathi va minerallashuvi bilan NDSI o‘rtasidagi mustahkam bog‘liqlik spektral indekslarning gidrogeologik omillarni aks ettirish qobiliyatini tasdiqlaydi. Geostatistik usullar (ayniqsa Kriging) punktli ma’lumotlarni fazoviy taqsimlashda yuqori aniqlikni ta’minlab, masofadan zondlash ma’lumotlari bilan integratsiyalashgan monitoring tizimini yaratish imkoniyatini ochadi.

Kelajak tadqiqotlari uchun quyidagi yo‘nalishlar tavsiya etiladi: ko‘p yillik vaqt qatorlari asosida dinamik modellashtirish; turli spektral indekslar (SI, VSSI, CRSI) ni taqqoslash; sun’iy intellekt algoritmlari (Random Forest, SVM) yordamida prognoz aniqligini oshirish; hamda biologik melioratsiya (masalan, *Glycyrrhiza glabra*) samaradorligini spektral monitoring bilan birgalikda baholash. Bunday yondashuvlar Sirdaryo viloyati va shunga o‘xshash hududlarda barqaror yer-suv resurslari boshqaruvini ta’minlashga xizmat qiladi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari Sirdaryo viloyati sug‘oriladigan yerlarida grunt suvlari sathi, minerallashuvi va NDSI ko‘rsatkichi o‘rtasida sezilarli bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatdi. Yoz mavsumida grunt suvlari sathi 1,8 m dan 1,4 m gacha sayozlashib, minerallashuv 2,6 g/l dan 3,4 g/l gacha oshgan va NDSI o‘rtacha qiymati 0,13 dan 0,16 gacha ko‘tarilgan. Grunt suvlari sathi bilan NDSI o‘rtasidagi korrelyatsiya yozda r = –0,78 gacha kuchaygan. Sho‘rlanish xavfi Oqoltin, Mirzaobod, Boyovut va Sardoba tumanlarida yuqoriroq ekanligi aniqlandi. Sentinel-2 ma’lumotlari va geostatistik usullarni birgalikda qo‘llash grunt suvlari va tuproq sho‘rlanishining hududiy xususiyatlarini baholash hamda meliorativ tadbirlarni rejalashtirish uchun samarali yondashuv sifatida tavsiya etiladi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Axunboboyev, M. M., Zikirov, I. Y., & Kenjayev, A. A. (2026). Sirdaryo viloyati tuproqlarida sho‘rlanish jarayonlarining sentinel-2 multispektral tasvirlari asosida ndsi ko‘rsatkichi orqali fazoviy baholanishi. Экономика и социум, (1-1 (140)), 85-92.

2. Aripov, I. K., & Radkevich, M. V. (2024). Sirdaryo viloyatida sho‘rlangan hududlarni melioratsiyalashtirish samaradorligining iqtisodiy baholanishi. FarDU Ilmiy xabarlari, 4, 21–27.

3. Aripov, I. K., Radkevich, M. V., & Gapirov, A. D. (2024). Vliyanie urovnya i mineralizatsii gruntovykh vod na urozhaynost’ sel’skokhozyaystvennykh kul’tur. Universum: khimiya i biologiya, 1(1), 32–36.

4. Khasanov, S., et al. (2021). Evaluation of the perennial spatio-temporal changes in the groundwater level and mineralization, and soil salinity in irrigated lands of arid zone: As an example of Syrdarya Province, Uzbekistan. Agricultural Water Management, 263, 107444.

5. Kulmatov, R., et al. (2021). Assessment of the space-time dynamics of soil salinity in irrigated areas under climate change: A case study in Sirdarya Province, Uzbekistan. Water, Air, & Soil Pollution, 232, 216.

6. Omonov, A., Fitriyah, A., Kato, T., & Kawabata, Y. (2022). Comparison of soil salinity indices based on satellite imagery analysis in Syrdarya province, Uzbekistan. Journal of Arid Land Studies, 32(S), 155–158.

7. Omonov, A., Kato, T., Fitriyah, A., Shirokova, Y., Suvanov, A., & Ismoilov, Z. (2023). Integrating spatial database for predicting soil salinity using machine learning methods in Syrdarya Province, Uzbekistan. E3S Web of Conferences, 371, 01011.

8. Omonov, A., Kato, T., Khasanov, S., Fitriyah, A., Li, F., Musayev, S., Pulatov, B., & Ismoilov, Z. (2024). Integrated approach to soil salinity assessment using SEM in Sirdarya province, Uzbekistan. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 35, 101214.

9. Radkevich, M. V., Yulchiev, D. G., & Aripov, I. (2022). Ispol'zovanie khlopchatnika dlya bioindikatsii zasoleniya pochv. Universum: tekhnicheskie nauki, 2(95).

10. Zikirov, I. Y., Kenjayev, A. A., & Aripov, I. K. (2026). Sirdaryo viloyati sug‘oriladigan hududlarida tabiiy meliorativ sharoit va tuproq sho‘rlanishining hududiy xususiyatlari. Экономика и социум, (1-2 (140)), 340-344.

11. Kenzhaev, A., Kushiev, K. K., & Kholliev, A. E. (2023). Restoration of salinity irrigated land using Glycyrrhiza glabra L. European Journal of Agricultural and Rural Education, 4(9), 43-49.