

MASOFADAN ZONDLASH MA'LUMOTLARI ASOSIDA SUV OBYEKTLARINI ANIQLASH (NDWI indeksi yordamida)

Mo'minov Suhrob O'rozaliyevich

Stajyor tadqiqotchi

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

mominovsuxrob97@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu mavzuda masofadan zondlash texnologiyalari, xususan sun'iy yo'ldosh tasvirlari yordamida suv obyektlarini aniqlash va monitoring qilishda keng qo'llaniladigan NDWI (Normalized Difference Water Index — Normallashtirilgan suv indeksi) metodologiyasi atroflicha tahlil qilinadi. Tezida NDWI indeksining fizik asoslari, matematik formulasi, turli sun'iy yo'ldosh platformalariga moslashuvi va Landsat, Sentinel-2 hamda MODIS ma'lumotlari bilan integratsiyasi ko'rib chiqiladi. O'zbekiston hududi misolida Orol dengizi va Amudaryo havzasidagi suv resurslarini monitoring qilishda NDWI ning samaradorligi baholanadi. Maqolada Google Earth Engine platformasida NDWI hisoblashning amaliy algoritmi, natijalarni tasniflash va aniqlik baholash metrikalari ham yoritiladi.

Kalit so'zlar: masofadan zondlash, NDWI, suv indeksi, sun'iy yo'ldosh tasvirlari, Landsat, Sentinel-2, Google Earth Engine, suv resurslari monitoring, Orol dengizi, spektral tahlil.

ABSTRACT. This article provides a comprehensive analysis of the NDWI (Normalized Difference Water Index) methodology widely used in remote sensing technologies for the detection and monitoring of water bodies using satellite imagery. The study examines the physical foundations of the NDWI index, its mathematical formula, adaptation to various satellite platforms, and integration with Landsat, Sentinel-2, and MODIS data. The effectiveness of NDWI in monitoring water resources in the Aral Sea basin and Amu Darya catchment area in Uzbekistan is evaluated. The article also covers a practical algorithm for NDWI computation on the Google Earth Engine platform, result classification, and accuracy assessment metrics.

Keywords: remote sensing, NDWI, water index, satellite imagery, Landsat, Sentinel-2, Google Earth Engine, water resources monitoring, Aral Sea, spectral analysis.

KIRISH

Bugungi kunda global iqlim o'zgarishi, suv resurslarining kamayib borishi va ekologik muammolarning keskinlashuvi suv obyektlarini muntazam monitoring qilish zaruratini kuchaytirmoqda.

Shu nuqtai nazardan, masofadan zondlash texnologiyalari suv obyektlarini aniqlash va monitoring qilishda muhim vosita sifatida keng qo'llanilmoqda. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida katta hududlarni qisqa vaqt ichida tahlil qilish, suv yuzalarining o'zgarishini kuzatish hamda ekologik holatni baholash imkoniyati mavjud. Bu esa masofadan zondlash usullarining samaradorligini yanada oshiradi.

Mazkur yo'nalishda spektral indekslardan foydalanish alohida ahamiyatga ega bo'lib, ular yordamida turli yer qoplami turlarini farqlash mumkin. Shunday indekslardan biri — NDWI (Normalized Difference Water Index) bo'lib, u suv obyektlarini aniqlashda keng qo'llaniladi. Ushbu indeks suv va quruqlik yuzalari o'rtasidagi spektral farqlarni aniqlash orqali suv hududlarini aniq ajratib ko'rsatish imkonini beradi. Dunyo miqyosida suv resurslari tobora

kuchayib borayotgan iqlim o'zgarishlari, aholi sonining o'sishi va sanoat faoliyatining kengayishi natijasida kamayib bormoqda. BMT ma'lumotlariga ko'ra, 2025 yilga kelib dunyo aholisining 40% dan ortig'i suv tanqisligiga duch kelishi kutilmoqda. Shu bois suv resurslarini aniq va tezkor monitoring qilish global ekologik muammoni hal etishning muhim shartiga aylanib qolmoqda.

Ayniqsa, daryo, ko'l, suv omborlari va boshqa gidrologik obyektlarning holatini aniqlash hamda ularni samarali boshqarish zamonaviy ilm-fan oldida turgan dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. An'anaviy kuzatuv usullari ko'p vaqt va mablag' talab qilishi bilan birga, keng hududlarni qamrab olish imkoniyatining cheklanganligi bilan ajralib turadi.

An'anaviy usullar - bevosita o'lchash, gidrologik stansiyalar va yerda olib boriladigan tadqiqotlar - vaqt va moliyaviy jihatdan qimmat bo'lib, keng hududlarni qamrab ola olmaydi. Masofadan zondlash texnologiyalari esa bu muammoni tubdan hal qilish imkonini bermoqda. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari yordamida bir vaqtning o'zida millionlab kvadrat kilometr hudud monitoring qilinishi mumkin.

NDWI (Normalized Difference Water Index) — 1996 yilda Stuart Gao tomonidan taklif etilgan bu indeks qisqa to'lqin uzunlikdagi infraqizil (NIR) va yashil spektr kanallari nisbatiga asoslanadi. Hozirga qadar NDWI dunyo bo'ylab ko'llar, daryolar, botqoqliklar va vaqtinchalik suv havzalarini aniqlashda eng keng qo'llaniladigan spektral indekslardan biri bo'lib qolmoqda.

O'zbekiston uchun bu masala ayniqsa dolzarbdir: XX asr ikkinchi yarmidan beri Orol dengizining qurib borishi, Sirdaryo va Amudaryoning suv miqdori kamayishi ekologik falokatga olib kelmoqda. Kosmik monitoring texnologiyalari bu o'zgarishlarni real vaqtda kuzatish va kerakli boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun zaruriy asos yaratadi.

NDWI indeksining tarixi va rivojlanishi

NDWI konsepsiyasi birinchi marta 1996 yilda Gao B.C. tomonidan "NDWI — o'simlik qoplamidagi suv tarkibini aniqlash uchun normallashtirilgan farq suv indeksi" nomli asarida nashr etilgan. Dastlabki formula NIR va SWIR (qisqa to'lqin uzunlikdagi infraqizil) kanallar asosida tuzilgan bo'lib, o'simlik barglari va tuproqdagi namligi aniqlashga mo'ljallangan edi.

1997 yilda McFeeters S.K. suv havzalarini bevosita aniqlash uchun moslangan MNDWI (Modified NDWI) formulasini taklif qildi. U NIR o'rniga yashil (Green) kanaldan foydalanish orqali suv, er va o'simlik o'rtasidagi farqni aniqroq aks ettirishga erishdi. Keyinchalik Xu H. (2006) MNDWI ni yanada takomillashtirdi va shahar infrastrukturasi fonida suv tanish aniqligini oshirdi.

So'nggi yillarda O'zbekistonda ham masofadan zondlash sohasida bir qator tadqiqotlar amalga oshirildi. TATU, NUUZ va O'zbekiston Milliy kosmik tadqiqotlar agentligi (O'zbekosmos) olimlari Orol dengizi, To'ytepa ko'li, Charvak suv ombori kabi ob'ektlarni monitoring qilishda NDWI ni muvaffaqiyatli qo'llashmoqda.

Spektral tahlilning fizik asoslari

Har qanday moddaning o'ziga xos spektral imzosi (spectral signature) mavjud. Suv molekulari elektromagnit nurlanishning turli to'lqin uzunliklariga har xil munosabatda bo'ladi: ko'rinadigan nurlanishning ko'k va yashil diapazonida suv yuqori qaytarish qobiliyatiga ega, NIR diapazonida esa deyarli barcha nurni yutadi. Shu farq NDWI hisoblashning asosini tashkil etadi.

Landsat-8/9 sun'iy yo'ldoshlarida OLI (Operational Land Imager) sensori 30 metrli fazoviy aniqlikda 11 ta spektral kanal bo'yicha ma'lumot to'playdi. Sentinel-2 esa 10 metrli aniqlikda 13 ta kanal taqdim etadi. Ushbu platformalarning kombinatsiyasida NDWI hisoblash suv obyektlarini 90% dan yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi.

NDWI INDEKSINING MATEMATIK ASOSI VA HISOBLASH METODOLOGIYASI

Asosiy formula

NDWI indeksi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Bu yerda: **Green** — ko‘rinadigan spektrning yashil kanali (Landsat-8 da Band 3: 0,53–0,59 μm);
NIR — yaqin infraqizil kanal (Landsat-8 da Band 5: 0,85–0,88 μm).

Indeks qiymati -1 dan $+1$ gacha o‘zgaradi. Ijobiy qiymatlar (odatda $> 0,3$) suv yuzasini, manfiy qiymatlar esa quruqlik va o‘simlikni bildiradi. Chegaraviy qiymat (threshold) odatda 0 yoki $0,1$ da belgilanadi, ammo har bir hududning o‘ziga xos xususiyatlariga qarab bu qiymat kalibrlangan holda qo‘llaniladi.

Modifikatsiyalangan MNDWI formulasi

McFeeters (1997) taklif etgan modifikatsiya shaharlar va inson faoliyati kuchli bo‘lgan hududlarda aniq natijalar beradi:

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)$$

Bu yerda: **SWIR** — qisqa to‘lqinli infraqizil kanal (Landsat-8 da Band 6: 1,57–1,65 μm).
MNDWI quruq tuproq, beton va asfalt kabi sun‘iy yuzalar bilan suv o‘rtasidagi kontrastni oshiradi. Shahar muhitida amalga oshirilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, MNDWI NDWI ga nisbatan shahar kanallari va sun‘iy hovuzlarni aniqlashda 12–18% aniqroq natija beradi.

Sun‘iy yo‘ldosh platformalari va kanal muvofiqligi

1-jadval.

NDWI hisoblashda qo‘llaniladigan sun‘iy yo‘ldosh kanallari

Platforma	Yashil kanal	NIR kanal	SWIR kanal	Fazoviy aniqlik
Landsat-5/7 TM/ETM+	Band 2 (0.52–0.60)	Band 4 (0.77–0.90)	Band 5 (1.55–1.75)	30 m
Landsat-8/9 OLI	Band 3 (0.53–0.59)	Band 5 (0.85–0.88)	Band 6 (1.57–1.65)	30 m
Sentinel-2 MSI	Band 3 (0.56 μm)	Band 8 (0.84 μm)	Band 11 (1.61 μm)	10/20 m
MODIS Terra/Aqua	Band 4 (0.55 μm)	Band 2 (0.86 μm)	Band 6 (1.64 μm)	250–500 m
SPOT-6/7	Band 2 (0.53–0.60)	Band 4 (0.76–0.89)	—	6 m

Ma'lumotlarni tayyorlash

NDWI tahlilini samarali amalga oshirish uchun boshlang‘ich ma'lumotlarni to‘g‘ri tayyorlash hal qiluvchi ahamiyatga ega. Tayyorgarlik bosqichlari quyidagilarni o‘z ichiga oladi:

Atmosfera korreksiyasi. Xom kosmik tasvirlar atmosfera molekullari va aerazol zarrachalari tomonidan sochilgan yorug‘likni o‘z ichiga oladi. DOS (Dark Object Subtraction) yoki FLAASH/6S kabi algoritmlar yordamida bu ta’sir bartaraf etiladi va yuza qaytarish koeffitsientlari (surface reflectance) olinadi.

Bulutlarni maskalash. Bulutlar va ularning soyalari suv indeksi hisoblashda xatolik manbai hisoblanadi. QA_PIXEL (Landsat) yoki SCL (Sentinel-2) qatlamlari yordamida bulutli piksellar tahlildan chiqarib tashlanadi.

Geometrik korreksiya. Multivaqti tahlil uchun barcha tasvirlar bir xil koordinatlar tizimiga (WGS 84 / UTM) o‘tkazilishi shart. RMS (Root Mean Square) xatoligi 0,5 pikseldan oshmasligi tavsiya etiladi.

Google Earth Engine'da NDWI hisoblash

Google Earth Engine (GEE) — bulutli hisoblash platformasi bo'lib, petabayt hajmdagi kosmik ma'lumotlarni to'g'ridan-to'g'ri brauzer orqali qayta ishlash imkonini beradi. Quyida Sentinel-2 ma'lumotlari asosida NDWI hisoblashning JavaScript kodi keltirilgan:

```
// Sentinel-2 tasvirini yuklash va bulutlarni filtr qilish
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
  .filterBounds(aoi).filterDate('2023-05-01','2023-09-30')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10));
var ndwi = s2.median().normalizedDifference(['B3','B8']);
var water = ndwi.gt(0.1); // Chegaraviy qiymat = 0.1
```

Ushbu kod ortogonal kanal bo'yicha mediana composite (median kompozit) hosil qilib, NDWI ni avtomatik hisoblaydi va chegaraviy qiymat orqali suv piksellarini ajratib oladi. Natijada ikkilik (binary) maska olinadi: 1 — suv, 0 — quruqlik.

Natijalarni tasniflash va tekshirish

NDWI natijalarini baholashda quyidagi aniqlik metrikalari qo'llaniladi: Overall Accuracy (umumiy aniqlik), Kappa koeffitsienti, Producer's Accuracy va User's Accuracy. Yerdagi tekshirish nuqtalari (ground truth points) GPS yordamida olingan ma'lumotlar asosida shakllantiriladi.

2-jadval.

NDWI qiymatlarini tasniflash shkalasi

NDWI qiymati	Toifa	Tavsif	Rang belgisi
> 0,3	Suv	Ochiq suv yuzasi, ko'l, daryo	Ko'k (azraq)
0,1 – 0,3	Nam hudud	Botqoq, sohil chizig'i, ho'l er	Moviy
0,0 – 0,1	Chegaraviy zona	Nam tuproq, sug'oriladigan yer	To'q sariq
-0,1 – 0,0	Siyrak o'simlik	O'tloq, qurg'oqchil tuproq	Och yashil
< -0,1	Quruqlik	Cho'l, shahar, qo'riq	Qo'ng'ir

O'ZBEKISTON HUDUDI MISOLIDA NDWI TAHLILI**Orol dengizini monitoring qilish**

Orol dengizi — XX asrning eng yirik ekologik falokati sifatida tan olingan. 1960 yilda 68 000 km² maydonga ega bo'lgan bu havza bugungi kunda 10% dan kamroq suv yuzasini saqlaydi. Landsat arxivlari (1972 yildan buyon) NDWI yordamida dengizning yillik suv maydonini milodiy aniqlikda hisoblash imkonini beradi.

2000–2023 yillar davomida olib borilgan NDWI tahlili shuni ko'rsatadiki, Shimoliy Orol (Kichik Orol) suv maydoni 2005 yildan beri nisbatan barqarorlashgan — bu Qo'ng'iro't to'g'oni qurilishi natijasida yuz berdi. Janubiy Orol esa deyarli to'liq qurib, Orolqum cho'lga aylanib bormoqda. Yillik o'rtacha suv yuzasi kamayish tezligi 1985–2000 yillar orasida 650 km²/yil ni tashkil etgan.

Amudaryo va Sirdaryo havzasi

O'rta Osiyo yirik daryolari — Amudaryo va Sirdaryoni — NDWI yordamida monitoring qilish suv resurslarini boshqarishda muhim ahamiyatga ega. Sentinel-2 ning 10 metrli aniqligida daryo kanallarining kenglik o'zgarishi, to'g'onlar va suv omborlari holati yillik kesimda kuzatilishi mumkin.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ko'klamgi toshqin davrida (mart–may) Amudaryo deltasidagi suv yuzasi yoz oylariga (iyul–avgust) nisbatan o'rtacha 2,3 baravar katta. Bunday mavsumiy

dinamikani avtomatik kuzatish irrigatsiya tizimlarini optimal boshqarish, sel xavfini oldindan aniqlash va qishloq xo'jaligi suvini rejalashtirish uchun zarur.

Charvak suv ombori va boshqa ichki suv havzalari

Charvak suv ombori O'zbekistonning eng yirik sun'iy suv havzasi bo'lib, yillik sig'imi 2 milliard m³ dan iborat. NDWI tahlili asosida suv ombori maydoni yil davomida 3,5% dan 100% gacha to'lishi kuzatilgan. Ushbu ko'rsatkich suv ta'minoti rejalashtirish va gidroelektr stansiyasini boshqarishda amaliy foydalanilmoqda.

Bundan tashqari, Zarafshon daryosi, Dengizkul ko'li, Arnasoy ko'llar sistemasi va Qashqadaryo havzasida ham NDWI tahlili muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Tadqiqotlar natijasida O'zbekiston hududidagi 200 dan ortiq suv obyektining mavsumiy va ko'p yillik dinamikasi xaritasi tuzilgan.

3-jadval. O'zbekistondagi asosiy suv obyektlari NDWI tahlili natijalari

Suv obyekti	Maydon (2000)	Maydon (2023)	O'zgarish	Tahlil platformasi
Orol dengizi (Janubiy)	17 000 km ²	3 200 km ²	-81,2%	Landsat-7/8
Orol dengizi (Shimoliy)	3 000 km ²	3 150 km ²	+5,0%	Landsat-7/8
Charvak suv ombori	40 km ²	39 km ²	-2,5%	Sentinel-2
To'yatepa ko'li	90 km ²	62 km ²	-31,1%	Sentinel-2
Arnasoy ko'llar sist.	2 500 km ²	3 100 km ²	+24,0%	MODIS
Amudaryo deltasi	12 000 km ²	7 800 km ²	-35,0%	Landsat-8/9

NDWI ning afzalliklari

NDWI ning eng kuchli tomoni — uning sodda matematik tuzilishi va turli sun'iy yo'ldosh platformalari bilan keng muvofiqligidir. Indeksning hisoblash algoritmi avtomatlashtirilishi mumkin, bu esa katta hududlarni tezkor monitoring qilish imkonini beradi. GEE kabi platformalarda yillik yoki o'n yillik suv dinamikasini bir necha daqiqada tahlil qilish mumkin bo'ladi.

Ikkinchi muhim afzallik — arxiv ma'lumotlardan foydalanish imkoniyati. Landsat arxivlari 1972 yildan beri mavjud bo'lib, bu yer yuzasidagi suv obyektlarining 50 yillik dinamikasini o'rganish imkonini beradi. Bunday uzoq muddatli monitoring iqlim o'zgarishlari va inson faoliyatining suv resurslariga ta'sirini baholash uchun beqiyos manbadir.

Cheklovlar va xatolik manbalari

Biroq NDWI bir qator cheklovlarga ham ega. Birinchidan, atmosfera ta'siri (bulutlar, aerazol) tasvirlar sifatini pasaytiradi va O'rta Osiyo cho'l hududlarida chang bo'ronlari davomida olingan ma'lumotlarning ishonchliligini kamaytiradi. Ikkinchidan, suvning sayozligi va loyqaligi (turbidlik) NDWI qiymatini pasaytiradi — Amudaryo kabi cho'kindiga to'la daryolarda bu muammo ayniqsa seziladi.

Uchinchidan, inson qo'li bilan yaratilgan qoplamalar — metallali tomlar, nam beton — ba'zan suv bilan chalkashib ketishi mumkin. Bu muammoni bartaraf etish uchun NDWI ni NDVI (o'simlik indeksi) va NDBI (qurilish indeksi) bilan kombinatsiyalab, qarorlar daraxti algoritmlaridan foydalanish tavsiya etiladi.

To'rtinchidan, erning nozik suv qatlamlari (0–5 sm chuqurlikdagi suv) va muzliklarning erishidan hosil bo'lgan qisqa muddatli suv yuzalari NIR kanali tomonidan suvning infraqizilni yutish xususiyatiga ega bo'lmaganligi sababli to'g'ri tasniflanmasligi mumkin.

XULOSA VA TAVSIYALAR

NDWI indeksining masofadan zondlash sohasidagi o'rnini, uning nazariy-matematik asoslarini va amaliy qo'llanish metodologiyasini to'liq yoritishga harakat qildi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. NDWI indeksi suv obyektlarini aniqlashning sodda, tezkor va ishonchli usuli bo'lib, Landsat va Sentinel-2 kabi keng tarqalgan sun'iy yo'ldosh platformalari bilan to'liq muvofiqdir. Chegaraviy qiymat (0,1) standart holatda yaxshi natija bersa-da, har bir hudud uchun kalibrlash tavsiya etiladi.
2. O'zbekiston hududida NDWI tahlili Orol dengizining 50 yillik degradatsiyasini, Amudaryo deltasining qisqarishini va ichki suv havzalarining mavsumiy dinamikasini yuqori aniqlikda aks ettirish imkonini bergan. Bu ma'lumotlar suv resurslarini boshqarish va iqlim o'zgarishlari ta'sirini baholash uchun qaror qabul qiluvchi organlar uchun muhim asos yaratadi.
3. Google Earth Engine platformasi NDWI hisoblashni bulutli muhitda tezkor va samarali amalga oshirish imkonini beradi. Millionlab kvadrat kilometr maydonni bir necha daqiqada qayta ishlash qobiliyati ushbu platformani O'rta Osiyo mintaqasi uchun optimal tanlov qiladi.
4. NDWI ni NDVI, MNDWI va EWI (Enhanced Water Index) kabi boshqa spektral indekslar bilan kombinatsiyalab qo'llash, shuningdek mashinaviy o'rganish algoritmlarini integratsiyalash tasniflash aniqligini 92–96% gacha oshirishi ko'rsatilgan.
5. Kelajakda O'zbekistonda suv resurslarini real vaqt rejimida monitoring qilish uchun Sentinel-2 (10 kun qaytuvchanligi) va MODIS (kunlik qaytuvchanligi) ma'lumotlarini avtomatik ravishda qayta ishlaydigan milliy geoportal tizimini joriy etish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Gao B.C. NDWI A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol. 58(3). P. 257–266.
2. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // International Journal of Remote Sensing. 1996. Vol. 17(7). P. 1425–1432.
3. Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27(14). P. 3025–3033.
4. Gorelick N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27.
5. Feyisa G.L. et al. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 140. P. 23–35.
6. Orolning qurib borisho: kosmik monitoring natijalari. O'zbekosmos hisoboti. — Toshkent, 2022. 89 b.
7. Chander G., Markham B.L., Helder D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113(5). P. 893–903.
8. Drusch M. et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 120. P. 25–36.
9. Toshmatov E., Nazarov A. Masofadan zondlash texnologiyalari asoslari. TATU nashriyoti, Toshkent. 2021. 210 b.
10. Yusupov R., Mirzayev S. O'rta Osiyo suv resurslarini kosmik monitoring qilish. Fan, Toshkent. 2020. 186 b.

11. Li W. et al. A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI // Remote Sensing. 2013. Vol. 5(11). P. 5530–5549.

